OCTAVA EDICIÓN

Biología

LA VIDA EN LA TIERRA

PEARSON Prentice Hall ®

AUDESIRK AUDESIRK BYERS

VISIT…

Biología

LA VIDA EN LA TIERRA

OCTAVA EDICIÓN

Teresa Audesirk
University of Colorado at Denver and Health Science Center

Gerald Audesirk
University of Colorado at Denver and Health Science Center

Bruce E. Byers
University of Massachusetts, Amherst

TRADUCCIÓN

Augusta Victoria Flores Flores
Traductora profesional

REVISIÓN TÉCNICA

Vicente Gerardo Hernández Hernández
Preparatoria de la Universidad La Salle

Paula Cortés García
Colegio Gimnasio del Norte
Bogotá, Colombia

Víctor Hugo Blanco Lozano
ITESM Campus Puebla

PEARSON Educación ®

Datos de catalogación bibliográfica

AUDESIRK TERESA; AUDESIRK GERALD; BYERS, BRUCE E.
Biología: La vida en la Tierra

Pearson Educación de México, 2008

ISBN 978-970-26-1194-3
Área: Ciencias

Formato 21 × 27 Páginas: 1024

Authorized translation from the English Language edition, entitled *Biology: Life on earth with physiology, 8th Edition* by *Teresa Audesirk, Gerald Audesirk and Bruce E. Byers*, published by Pearson Education Inc., publishing as PRENTICE HALL INC., Copyright ©2008. All rights reserved.
Versión en español de la obra titulada *Biology: Life on earth with physiology, 8ª edición,* de *Teresa Audesirk, Gerald Audesirk y Bruce E. Byers*, publicada originalmente en inglés por Pearson Education Inc., publicada como PRENTICE HALL INC., Copyright ©2008. Todos los derechos reservados.

ISBN 0-13-195766-X

Esta edición en español es la única autorizada.

Edición en español

Editor:	Enrique Quintanar Duarte
e-mail:	enrique.quintanar@pearsoned.com
Editor de desarrollo:	Felipe Hernández Carrasco
Supervisor de producción:	Rodrigo Romero Villalobos

OCTAVA EDICIÓN, 2008

D.R. © 2008 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
Atlacomulco Núm. 500, 5° Piso
Col. Industrial Atoto
53519, Naucalpan de Juárez, Edo. de México

Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. Reg. Núm. 1031

Prentice Hall es una marca registrada de Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito del editor.

El préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión de uso de este ejemplar requerirá también la autorización del editor o de sus representantes.

ISBN 10: 970-26-1194-6
ISBN 13: 978-970-26-1194-3

Impreso en México. *Printed in Mexico.*
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 - 11 10 09 08

PEARSON Educación

Edición en inglés

Editor: Jeff Howard
Development Editor: Anne Scanlan-Rohrer
Production Editor: Tim Flem/PublishWare
Media Editor: Patrick Shriner
Executive Managing Editor: Kathleen Schiaparelli
Editor in Chief of Development: Carol Trueheart
Media Production: nSight
Managing Editor, Science Media: Rich Barnes
Director of Marketing: Patrick Lynch
Marketing Assistant: Jessica Muraviov
Director of Creative Services: Paul Belfanti
Creative Director: Juan Lopez
Art Director: John Christiana
Interior Design: Maureen Eide
Cover Designers: Maureen Eide and John Christiana
Page Composition: PublishWare
Manufacturing Manager: Alexis Heydt-Long
Buyer: Alan Fischer
Senior Managing Editor, Art Production and Management: Patricia Burns
Manager, Production Technologies: Matthew Haas
Managing Editor, Art Management: Abigail Bass
Art Development Editor: Jay McElroy
Art Production Editor: Rhonda Aversa
Manager, Art Production: Sean Hogan
Assistant Manager, Art Production: Ronda Whitson
Illustrations: ESM Art Production; Lead Illustrators: Daniel Knopsnyder, Stacy Smith, Nathan Storck; Imagineering; Stephen Graepel
Cartographer: GeoNova, LLC
Assistant Managing Editor, Science Supplements: Karen Bosch
Editorial Assistant: Gina Kayed
Production Assistant: Nancy Bauer
Director, Image Resource Center: Melinda Reo
Manager, Rights and Permissions: Zina Arabia
Interior Image Specialist: Beth Boyd Brenzel
Cover Image Specialist: Karen Sanatar
Image Permission Coordinator: Debbie Latronica
Photo Researcher: Yvonne Gerin
Cover Photograph: Rockhopper Penguins; The Neck, Saunders Island, Falkland Islands, by Laura Crawford Williams

Resumen de Contenido

1 Introducción a la vida en la Tierra 1

UNIDAD 1 La vida de una célula 19

2 Átomos, moléculas y vida 20
3 Moléculas biológicas 36
4 Estructura y función de la célula 56
5 Estructura y función de la membrana celular 80
6 Flujo de energía en la vida de una célula 100
7 Captación de energía solar: Fotosíntesis 116
8 Obtención de energía: Glucólisis y respiración celular 132

UNIDAD 2 Herencia 147

9 DNA: La molécula de la herencia 148
10 Expresión y regulación de los genes 166
11 La continuidad de la vida: Reproducción celular 190
12 Patrones de herencia 220
13 Biotecnología 250

UNIDAD 3 Evolución y diversidad de la vida 275

14 Principios de la evolución 276
15 Cómo evolucionan los organismos 294
16 El origen de las especies 314
17 Historia de la vida 330
18 Sistemática: Búsqueda de orden en medio de la diversidad 356
19 La diversidad de los procariotas y los virus 370
20 La diversidad de los protistas 386
21 La diversidad de las plantas 402
22 La diversidad de los hongos 422
23 Diversidad animal I:Invertebrados 440
24 Diversidad animal II: Vertebrados 468

UNIDAD 4 Comportamiento y ecología 487

25 Comportamiento animal 488
26 Crecimiento y regulación de las poblaciones 512
27 Interacciones de la comunidad 536
28 ¿Cómo funcionan los ecosistemas? 558
29 Los diversos ecosistemas de la Tierra 580
30 Conservación de la biodiversidad de la tierra 610

UNIDAD 5 Anatomía y fisiología de los animales 633

31 Homeostasis y organización del cuerpo animal 634
32 Circulación 648
33 Respiración 668
34 Nutrición y digestion 684
35 El sistema urinario 706
36 Defensas contra la enfermedad 720
37 Control químico del organismo animal: El sistema endocrino 740
38 El sistema nervioso y los sentidos 760
39 Acción y sostén: Los músculos y el esqueleto 796
40 Reproducción animal 814
41 Desarrollo animal 836

UNIDAD 6 Anatomía y fisiología de las plantas 857

42 Anatomía de las plantas y transporte de nutrimentos 858
43 Reproducción y desarrollo de las plantas 886
44 Respuestas de las plantas al ambiente 908

Ensayos

GUARDIÁN DE LA TIERRA

¿Por qué devemos preservar la biodiversidad? 12
Especies en peligro de extinción: De la poza génica a los "charcos de genes" 308
Hibridación y extinción 322
El caso de las setas que desaparecen 435
Ranas en peligro 476
¿Hemos excedido la capacidad de carga de la Tierra? 528
Especies invasoras trastornan las interacciones de la comunidad 541
Las sustancias tóxicas se acumulan a lo largo de las cadenas alimentarias 566
Los polos en peligro 576
El agujero de ozono, una abertura en nuestro escudo protector 586
Restauración de los Everglades 616
Problemas intrincados: Tala, pesca y cacería furtiva 618
En defensa de las tortugas marinas 621
Recuperación de un depredador clave 624
Preservación de la biodiversidad con café cultivado a la sombra 629
Engaño endocrino 754
Las plantas ayudan a regular la distribución del agua 878
Dodós, murciélagos y ecosistemas perturbados 898

GUARDIÁN DE LA SALUD

El colesterol, aliado y enemigo 47
¿Por qué aumentamos de peso si ingerimos azúcar? 144
Sexo, envejecimiento y mutaciones 184
Cáncer, división celular mitótica descontrolada 208
Diagnóstico genético prenatal 268
Al rescate de los corazones enfermos 654
Fumar: una decisión de vida 678
Cuando se antoja una hamburguesa con queso 687
Las úlceras digieren el tracto digestivo 699
Cuando los riñones fallan 714
El combate a la influenza: ¿Es inminente una pandemia de gripe aviar? 734
Drogas, enfermedades y neurotransmisores 769
Como se repara un hueso fracturado 808
Osteoporosis: Cuando los huesos se vuelven quebradizos 810
Enfermedades de transmisión sexual 828
Reproducción con alta tecnología 831
La placenta sólo brinda una protección parcial 852
¿Eres alérgico al polen? 890

DE CERCA

Un asunto peliagudo 52
Quimiósmosis, la síntesis de ATP en los cloroplastos 124
Glucólisis 136
Reacciones de la matríz mitocondrial 141
Estructura y duplicación del DNA 159
La síntesis de proteínas, un asunto de alta energía 180
El principio de Hardy-Weinberg 298
Especiación por mutación 326
Reconstrucción de los árboles filogenéticos 362
¿Cómo se replican los virus? 382
Las branquias y los gases: Un intercambio contracorriente 674
Las nefronas y la formación de orina 712
Los iones y las señales eléctricas en las neuronas 766
El control hormonal del ciclo menstrual 826
¿Cómo absorben agua y minerales las raíces? 874

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Experimentos controlados, antes y ahora 6
La radiactividad en la investigación 24
En busca de la célula 64
El descubrimiento de las acuaporinas 89
El DNA es la molécula de la herencia de los bacteriófagos 152
El descubrimiento de la doble hélice 156
El RNA ya no es sólo un mensajero 183
Copias al carbón, la clonación en la naturaleza y en el laboratorio 202
Fibrosis quística 234
Aguas termales y la ciencia del calor 256
Charles Darwin: La naturaleza era su laboratorio 282
¿Cómo sabemos qué tan antiguo es un fósil? 338
La genética molecular pone al descubierto las relaciones evolutivas 365
Hormigas y acacias: Una asociación ventajosa 549
El descubrimiento de las vacunas 732
Neuroimágenes: Una mirada al interior de la "caja negra" 780
En busca de un anticonceptivo masculino 832
La promesa de las células madre 843
¿Cómo se descubrieron las hormonas vegetales? 912

GUARDIÁN DE LA BIOTECNOLOGÍA

Arroz dorado 267

ENLACES CON LA VIDA

La vida que nos rodea 14
¿Alimentación saludable? 29
¿Alimentos sintéticos? 41
Huéspedes indeseables 77
La falta de una enzima produce intolerancia a la lactosa 113
Tú vives gracias a las plantas 129
Un tarro de vino, una rebanada de pan y un tazón de col agria 139
Genética, evolución y medicina 178
Biotecnología, de lo sublime a lo ridículo 266
Los nombres científicos y la vanidad 328
Un mundo pequeño 367
Comensales indeseables 378
Recolecta con cuidado 436
Ayudantes de cirujanos 454
¿Los animales pertenecen a los laboratorios? 483
Pisar ligeramente: ¿Qué tan grande es tu "huella"? 533
Es posible hacer una diferencia 577
¿Disfrutar del chocolate y salvar selvas tropicales? 591
¿Qué pueden hacer los individuos? 630
¿Calor o humedad? 637
Quienes abandonan el hábito de fumar son ganadores 680
¿Demasiado líquido para beber? 717
Más cerca de la cura de la diabetes 756
Caminar con un perro 811
¿Por qué el parto es tan difícil? 854

CONEXIONES EVOLUTIVAS

Patas del caribú y diversidad de membranas 96
Los científicos no ponen en duda la evolución 326
Nuestros ancestros unicelulares 400
El ingenio de los hongos: Cerdos, escopetas y lazos 435
¿Los seres humanos son un éxito biológico? 482
¿Por qué juegan los animales? 508
¿El camuflaje es capaz de dividir una especie? 554
La evolución de las hormonas 756
Sentidos poco comunes 790
Adaptaciones especiales de raices, tallos y hojas 880

Contenido

Prefacio xxiii

1 Introducción a la vida en la Tierra 1

ESTUDIO DE CASO La vida en la Tierra ¿Y en algún otro lugar? 1

1.1 ¿Cómo estudian la vida los científicos? 2

La vida puede estudiarse en diferentes niveles de organización 2

Los principios científicos fundamentan toda investigación científica 3

El método científico es la base de la investigación científica 4

La comunicación es esencial para la ciencia 5

La ciencia es un esfuerzo humano 5

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Experimentos controlados, antes y ahora 6

Las teorías científicas se han probado una y otra vez 8

1.2 Evolución: La teoría unificadora de la biología 9

Tres procesos naturales sustentan la evolución 9

1.3 ¿Cuáles son las características de los seres vivos? 10

Los seres vivos son complejos, están organizados y se componen de células 11

Los seres vivos mantienen condiciones internas relativamente constantes mediante la homeostasis 11

GUARDIÁN DE LA TIERRA ¿Por qué debemos preservar la biodiversidad? 12

Los seres vivos responden ante estímulos 13

Los seres vivos obtienen y usan materiales y energía 13

ENLACES CON LA VIDA La vida que nos rodea 14

Los seres vivos crecen 14

Los seres vivos se reproducen 14

En conjunto, los seres vivos poseen la capacidad de evolucionar 14

1.4 ¿Cómo clasifican los científicos en categorías la diversidad de los seres vivos? 14

Los dominios Bacteria y Archaea están constituidos por células; el dominio Eukarya se compone de células eucarióticas 14

Los dominios Bacteria y Archaea, así como los miembros del reino Protista, son principalmente unicelulares; los miembros de los reinos Fungi, Plantae y Animalia son básicamente multicelulares 15

Los miembros de los distintos reinos tienen formas diferentes de obtener energía 15

1.5 ¿Cómo ilumina la vida diaria el conocimiento de la biología? 15

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO La vida en la Tierra ¿y en algún otro lugar? 17

UNIDAD 1 La vida de una célula 19

2 Átomos, moléculas y vida 20

ESTUDIO DE CASO Caminando sobre el agua 21

2.1 ¿QUÉ SON LOS ÁTOMOS? 22

Los átomos, las unidades estructurales fundamentales de la materia, se componen de partículas aún más pequeñas 22

2.2 ¿CÓMO INTERACTÚAN LOS ÁTOMOS PARA FORMAR MOLÉCULAS? 23

Los átomos interactúan con otros átomos cuando hay vacíos en sus capas de electrones más externas 23

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA La radiactividad en la investigación 24

Los átomos con carga, llamados iones, interactúan para formar enlaces iónicos 25

Los átomos sin carga pueden estabilizarse compartiendo electrones para formar enlaces covalentes 26

Los puentes de hidrógeno son atracciones eléctricas entre las moléculas que tienen enlaces covalentes polares o dentro de éstas 28

2.3 ¿Por qué el agua es tan importante para la vida? 28

El agua interactúa con muchas otras moléculas 28

ENLACES CON LA VIDA ¿Alimentación saludable? 29

Las moléculas de agua tienden a mantenerse unidas 30

Las soluciones en agua pueden ser ácidas, básicas y neutras 31

El agua modera los efectos de los cambios de temperatura 32

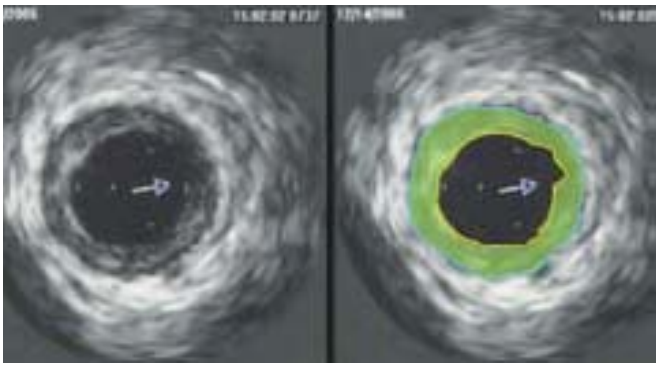
El agua forma un sólido singular: El hielo 32

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Caminando sobre el agua 33

3 Moléculas biológicas 36

ESTUDIO DE CASO Proteínas misteriosas 37

3.1 ¿Por qué el carbono es tan importante en las moléculas biológicas? 38



3.2 ¿Cómo se sintetizan las moléculas orgánicas? 38
Las moléculas biológicas se unen o se desintegran agregando o eliminando agua 39

3.3 ¿Qué son los carbohidratos? 39
Hay diversos monosacáridos con estructuras ligeramente distintas 39
ENLACES CON LA VIDA ¿Alimentos sintéticos? 41
Los disacáridos consisten en dos azúcares simples que se enlazan mediante síntesis por deshidratación 41
Los polisacáridos son cadenas de azúcares simples 42

3.4 ¿Qué son los lípidos? 44
Los aceites, las grasas y las ceras son lípidos que sólo contienen carbono, hidrógeno y oxígeno 44
Los fosfolípidos tienen "cabezas" solubles en agua y "colas" insolubles en agua 46
Los esteroides consisten en cuatro anillos de carbono fusionados 46
GUARDIÁN DE LA SALUD El colesterol, aliado y enemigo 47

3.5 ¿Qué son las proteínas? 47
Las proteínas se forman a partir de cadenas de aminoácidos 48
Los aminoácidos se unen para formar cadenas mediante síntesis por deshidratación 49
Una proteína puede tener hasta cuatro niveles de estructura 49
Las funciones de las proteínas están ligadas a sus estructuras tridimensionales 51
DE CERCA Un asunto peliagudo 52

3.6 ¿Qué son los ácidos nucleicos? 53
El DNA y el RNA (las moléculas de la herencia) son ácidos nucleicos 53
Otros nucleótidos actúan como mensajeros intracelulares y portadores de energía 53

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Proteínas misteriosas 54

4 Estructura y función de la célula 56

ESTUDIO DE CASO Repuestos para cuerpos humanos 57

4.1 ¿Qué es la teoría celular? 59

4.2 ¿Cuáles son las características básicas de las células? 59
Las funciones de las células limitan su tamaño 59
Todas las células tienen características comunes 59
Hay dos tipos básicos de células: procarióticas y eucarióticas 62

4.3 ¿Cuáles son las características principales de las células eucarióticas? 63
El citoesqueleto brinda forma, soporte y movimiento 63
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA En busca de la célula 64
Los cilios y flagelos mueven a la célula o a los líquidos para que éstos pasen por la célula 67
El núcleo es el centro de control de la célula eucariótica 67
El citoplasma eucariótico incluye un complejo sistema de membranas 70
Las vacuolas desempeñan muchas funciones, como regulación del agua, soporte y almacenamiento 72
Las mitocondrias extraen energía de las moléculas de alimento y los cloroplastos captan la energía solar 73
Las plantas utilizan plástidos para almacenamiento 74

4.4 ¿Cuáles son las características principales de las células procarióticas? 75
Las células procarióticas son pequeñas y poseen características superficiales especializadas 75
Las células procarióticas tienen menos estructuras especializadas dentro del citoplasma 76
ENLACES CON LA VIDA Huéspedes indeseables 77

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO
Respuestas para cuerpos humanos 77

5 Estructura y función de la membrana celular 80

ESTUDIO DE CASO Venenos nocivos 81

5.1 ¿Qué relación hay entre la estructura de una membrana celular y su función? 82
Las membranas celulares aíslan el contenido de la célula mientras permiten la comunicación con el ambiente 82
Las membranas son "mosaicos fluidos" en los que las proteínas se mueven dentro de las capas de lípidos 82
La bicapa de fosfolípidos es la porción fluida de la membrana 83
Una variedad de proteínas forman un mosaico dentro de la membrana 84

5.2 ¿Cómo logran las sustancias atravesar las membranas? 85
Las moléculas de los fluidos se mueven en respuesta a los gradientes 85
El movimiento a través de las membranas se efectúa mediante transporte pasivo y activo 86
El transporte pasivo incluye difusión simple, difusión facilitada y ósmosis 86
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA El descubrimiento de las acuaporinas 89
El transporte activo utiliza energía para mover moléculas en contra de sus gradientes de concentración 91
Las células absorben partículas o fluidos mediante endocitosis 92
La exocitosis saca materiales de la célula 94
El intercambio de materiales a través de las membranas influye en el tamaño y la forma de la célula 94

5.3 ¿Cómo las uniones especializadas permiten a las células establecer conexiones y comunicarse? 95
Los desmosomas unen las células 95
Las uniones estrechas impiden las filtraciones en las células 95
Las uniones en hendidura y los plasmodesmos permiten la comunicación entre células 96

CONEXIONES EVOLUTIVAS Patas de caribú y diversidad de membranas 96

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Venenos nocivos 97

6 Flujo de energía en la vida de una célula 100

ESTUDIO DE CASO Energía liberada 101

6.1 ¿Qué es energía? 102
- Las leyes de la termodinámica describen las propiedades básicas de la energía 102
- Los seres vivos utilizan la energía de la luz solar para crear las condiciones de baja entropía de la vida 103

6.2 ¿Cómo fluye la energía en las reacciones químicas? 103
- Las reacciones exergónicas liberan energía 104
- Las reacciones endergónicas requieren un aporte neto de energía 105
- Las reacciones acopladas enlazan reacciones endergónicas y exergónicas 105

6.3 ¿Cómo se transporta energía celular entre reacciones acopladas? 105
- El ATP es el principal portador de energía en las células 105
- Los portadores de electrones también transportan energía dentro de las células 107

6.4 ¿Cómo controlan las células sus reacciones metabólicas? 108
- A temperaturas corporales, las reacciones espontáneas son demasiado lentas para sustentar la vida 108
- Los catalizadores reducen la energía de activación 108
- Las enzimas son catalizadores biológicos 108
- Las células regulan el metabolismo al controlar las enzimas 110
- Los venenos, las drogas y el ambiente influyen en la actividad de las enzimas 111
- ENLACES CON LA VIDA La falta de una enzima produce intolerancia a la lactosa 113

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Energía liberada 113

7 Captación de energía solar: Fotosíntesis 116

ESTUDIO DE CASO ¿Los dinosaurios murieron por falta de luz solar? 117

7.1 ¿Qué es la fotosíntesis? 118
- Las hojas y los cloroplastos son adaptaciones para la fotosíntesis 118
- La fotosíntesis consiste en reacciones dependientes e independientes de la luz 119

7.2 Reacciones dependientes de la luz: ¿Cómo se convierte la energía luminosa en energía química? 120
- Durante la fotosíntesis, los pigmentos de los cloroplastos captan primero la luz 120
- Las reacciones dependientes de la luz se efectúan dentro de las membranas tilacoideas 121
- DE CERCA Quimiósmosis, la síntesis de ATP en los cloroplastos 124

7.3 Reacciones independientes de la luz: ¿Cómo se almacena la energía química en las moléculas de glucosa? 125
- El ciclo C_3 capta dióxido de carbono 125
- El carbono fijado durante el ciclo C_3 se utiliza para sintetizar glucosa 126

7.5 Agua, CO_2 y la vía C_4 127
- Cuando los estomas se cierran para conservar agua se lleva a cabo la derrochadora fotorrespiración 127
- Las plantas C4 reducen la fotorrespiración mediante un proceso de fijación de carbono en dos etapas 129
- Las plantas C3 y C4 se adaptan a condiciones ambientales diferentes 129
- ENLACES CON LA VIDA Tú vives gracias a las plantas 129

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO
¿Los dinosaurios murieron por falta de luz solar? 130

8 Obtención de energía: Glucólisis y respiración celular 132

ESTUDIO DE CASO Cuando los atletas aumentan el número de glóbulos rojos: ¿tienen éxito quienes engañan? 133

8.1 ¿Cómo obtienen energía las células? 134
- La fotosíntesis es la última fuente de energía celular 134
- La glucosa es una molécula clave en el almacenamiento de energía 134
- Descripción general de la descomposición de la glucosa 134

8.2 ¿Cómo se capta la energía de la glucosa durante la glucólisis? 135
- La glucólisis "descompone" la glucosa en piruvato y libera energía química 135
- En ausencia de oxígeno, la fermentación sigue a la glucólisis 135
- DE CERCA Glucólisis 136

8.3 ¿Cómo logra la respiración celular captar energía adicional de la glucosa? 138
- La respiración celular en las células eucarióticas se realiza en las mitocondrias 138
- ENLACES CON LA VIDA Un tarro de vino, una rebanada de pan y un tazón de col agria 139
- El piruvato se descompone en la matriz mitocondrial liberando más energía 139
- Los electrones de alta energía viajan a través de la cadena de transporte de electrones 140
- DE CERCA Reacciones de la matríz mitocondrial 141
- La quimiósmosis capta la energía almacenada en un gradiente de iones hidrógeno y produce ATP 141

8.4 Recapitulación 142
Un resumen de la descomposición de la glucosa en las células eucarióticas 142
La glucólisis y la respiración celular influyen en el funcionamiento de los organismos 142
GUARDIÁN DE LA SALUD ¿Por qué aumentamos de peso si ingerimos azúcar? 144
OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Cuando los atletas aumentan el número de glóbulos rojos: ¿Tienen éxito quienes engañan? 145

UNIDAD 2
Herencia 147

9 DNA: La molécula de la herencia 148

ESTUDIO DE CASO Músculos, mutaciones y miostatina 149
9.1 ¿Cómo descubrieron los científicos que los genes están compuestos de DNA? 150
La transformación bacteriana pone de manifiesto el vínculo entre los genes y el DNA 150
9.2 ¿Cuál es la estructura del DNA? 151
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA El DNA es la molécula de la herencia de los bacteriófagos 152
El DNA se compone de cuatro nucleótidos 154
El DNA es una doble hélice de dos cadenas de nucleótidos 154
Los puentes de hidrógeno entre bases complementarias mantienen unidas las dos cadenas de DNA 154
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA El descubrimiento de la doble hélice 156
9.3 ¿Cómo codifica el DNA la información? 157
9.4 ¿Cómo logra la duplicación del DNA asegurar la constancia genética durante la división celular? 157
La duplicación del DNA es un acontecimiento fundamental en la vida de una célula 157
La duplicación del DNA produce dos moléculas de DNA idénticas, cada una con una cadena original (parental) y otra nueva (cadena hija) 157

9.5 ¿Cómo ocurren las mutaciones? 158
DE CERCA Estructura y duplicación del DNA 159
La duplicación exacta y la corrección del DNA permiten lograr una duplicación del DNA casi libre de errores 162
A veces se producen errores 163
Las mutaciones van desde cambios en pares de nucleótidos solos hasta movimientos de grandes segmentos de cromosomas 163
Las mutaciones pueden tener varios efectos en la función 163
OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Músculos, mutaciones y miostatina 163

10 Expresión y regulación de los genes 166

ESTUDIO DE CASO ¡Viva la diferencia! 167
10.1 ¿Cuál es la relación entre los genes y las proteínas? 168
La mayoría de los genes contienen información para la síntesis de una sola proteína 168
El DNA da las instrucciones para la síntesis de proteínas mediante intermediarios de RNA 169
Perspectiva general: La información genética se transcribe al RNA y se traduce en proteínas 170
El código genético utiliza tres bases para especificar un aminoácido 171
10.2 ¿Cómo se transcribe la información de un gen al RNA? 172
La transcripción se inicia cuando la RNA polimerasa se une al promotor de un gen 172
El alargamiento prosigue hasta que la RNA polimerasa llega a una señal de terminación 172
10.3 ¿Cómo se traduce la secuencia de bases de una molécula de RNA mensajero a proteínas?
El RNA mensajero transporta el código para la síntesis de proteínas del DNA a los ribosomas 173
Los ribosomas consisten en dos subunidades, cada una compuesta de RNA ribosómico y proteínas 176
Las moléculas de RNA de transferencia descifran la secuencia de bases del RNAm para obtener la secuencia de aminoácidos de una proteína 176
Durante la traducción, el RNAm, el RNAt y los ribosomas cooperan para sintetizar proteínas 176
Recapitulación: Para descifrar la secuencia de bases del DNA y obtener la secuencia de aminoácidos de una proteína son necesarias la transcripción y la traducción 176
ENLACES CON LA VIDA Genética, evolución y medicina 178
10.4 ¿Cómo influyen las mutaciones del DNA en la función de los genes? 178
Las mutaciones tienen diversos efectos en la estructura y función de las proteínas 179
Inversiones y translocaciones 179
Deleciones e inserciones 179
Sustituciones 179
DE CERCA La síntesis de proteínas, un asunto de alta energía 180
Las mutaciones suministran la materia prima de la evolución 180
10.5 ¿Cómo se regulan los genes? 180
La regulación de los genes en los procariotas 181
La regulación de los genes en los eucariotas 182

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA El RNA ya no es sólo un mensajero 183
Las células eucarióticas regulan la transcripción de genes individuales, regiones de cromosomas o cromosomas enteros 183
GUARDIÁN DE LA SALUD Sexo, envejecimiento y mutaciones 184
OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO ¡Viva la diferencia! 186

11 La continuidad de la vida: Reproducción celular 190

ESTUDIO DE CASO ¿Qué tanto vale la pena un buen bronceado? 191
11.1 ¿Cuál es la función de la reproducción celular en la vida de células individuales y de organismos completos? 192
El ciclo celular procariótico consiste en crecimiento y fisión binaria 193
El ciclo celular eucariótico consiste en la interfase y la división celular 194
11.2 ¿Cómo se organiza el dna en los cromosomas de las células eucarióticas? 195
El cromosoma eucariótico consiste en una molécula de DNA lineal unida a proteínas 195
Los cromosomas eucarióticos se presentan habitualmente en pares homólogos con información genética similar 197
11.3 ¿Cómo se reproducen las células por división celular mitótica? 199
Durante la profase los cromosomas se condensan y los microtúbulos del huso se forman y se unen a los cromosomas 200
Durante la metafase los cromosomas se alinean a lo largo del ecuador de la célula 200
Durante la anafase las cromátidas hermanas se separan y son atraídas hacia polos opuestos de la célula 200
Durante la telofase la envoltura nuclear se forma alrededor de ambos grupos de cromosomas 200
Durante la citocinesis el citoplasma se divide entre dos células hijas 200
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Copias al carbón, la clonación en la naturaleza y en el laboratorio 202
Los puntos de control regulan el progreso durante el ciclo celular 204
La actividad de enzimas específicas impulsa el ciclo celular 204
Mecanismos de regulación sobre los puntos de control 205
11.5 ¿Por qué tantos organismos se producen sexualmente? 206
Las mutaciones de DNA son la fuente última de la variabilidad genética 206
La reproducción sexual puede combinar diferentes alelos progenitores en un solo descendiente 207
11.6 ¿Cómo la división celular meiótica produce células haploides? 207
La meiosis separa los cromosomas homólogos y produce núcleos hijos haploides 207
GUARDIÁN DE LA SALUD Cáncer, división celular mitótica descontrolada 208
La división celular meiótica seguida por la fusión de gametos mantiene constante el número de cromosomas de una generación a otra 209
La meiosis I separa los cromosomas homólogos en dos núcleos haploides hijos 209
La meiosis II separa las cromátidas hermanas en cuatro núcleos hijos 213
11.7 ¿Cuándo ocurren la división celular meiótica y mitótica en el ciclo de la vida de los eucariotas? 213
En los ciclos de vida haploides, la mayoría del ciclo consta de células haploides 214
En los ciclos de vida diploides la mayoría del ciclo consiste en células diploides 215
En la alternancia del ciclo de vida de las generaciones, hay tanto etapas multicelulares haploides como diploides 215
11.8 ¿De qué forma la meiosis y la reproducción sexual originan variabilidad genética? 216
La redistribución de homólogos crea combinaciones nuevas de cromosomas 216
El entrecruzamiento crea cromosomas con combinaciones nuevas de genes 217
La fusión de gametos aporta más variabilidad genética a la descendencia 217
OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO ¿Qué tanto vale la pena un buen bronceado? 217

12 Patrones de herencia 220

ESTUDIO DE CASO Muerte súbita en la cancha 221
12.1 ¿Cuál es la base física de la herencia? 222
Los genes son secuencias de nucleótidos en lugares específicos dentro de los cromosomas 222
Los dos alelos de un organismo pueden ser iguales o diferentes 222
12.2 ¿Cómo estableció Gregor Mendel los cimientos de la genética moderna? 222
Hacer bien las cosas: Los secretos del éxito de Mendel 222
12.3 ¿Cómo se heredan los rasgos individuales? 223

La hipótesis de Mendel sirve para predecir el resultado de nuevos tipos de cruzas de rasgos individuales 226

12.4 ¿Cómo se heredan los rasgos múltiples? 227
Mendel planteó la hipótesis de que los rasgos se heredan de forma independiente 227
En un mundo no preparado, el genio podría pasar inadvertido 228

12.5 ¿Cómo se heredan los genes localizados en un mismo cromosoma? 229
Los genes que están en un mismo cromosoma tienden a heredarse juntos 229
La recombinación crea nuevas combinaciones de alelos ligados 230

12.6 ¿Cómo se determina el sexo y cómo se heredan los genes ligados a los cromosomas sexuales? 231
Los genes ligados a los cromosomas sexuales se encuentran sólo en el cromosoma *X* o sólo en el cromosoma *Y* 231

12.7 ¿Las leyes mendelianas de la herencia se aplican a todos los rasgos? 233
Dominancia incompleta: el fenotipo de los heterocigotos es un intermedio entre los fenotipos de los homocigotos 233
Un solo gen puede tener múltiples alelos 233
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Fibrosis quística 234
Muchos rasgos reciben influencia de varios genes 235
Los genes individuales comúnmente tienen múltiples efectos en el fenotipo 235
El ambiente influye en la expresión de los genes 237

12.8 ¿Cómo se investigan las anomalías genéticas humanas? 237

12.9 ¿Cómo se heredan las anomalías humanas originadas por genes individuales? 238
Algunas anomalías genéticas humanas se deben a alelos recesivos 238
Algunas anomalías genéticas humanas se deben a alelos dominantes 239
Algunas anomalías humanas están ligadas a los cromosomas sexuales 240

12.10 ¿Cómo afectan a los seres humanos los errores en el número de cromosomas? 240
Ciertas anomalías genéticas humanas se deben a un número anormal de cromosomas sexuales 241
Ciertas anomalías genéticas humanas se deben a un número anormal de autosomas 243

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO
Muerte súbita en la cancha 244

13 Biotecnología 250

ESTUDIO DE CASO ¿Culpable o inocente? 251

13.1 ¿Qué es la biotecnología? 252

13.2 ¿Cómo se recombina el DNA en la naturaleza? 252

13.3 ¿Cómo se emplea la biotecnología en la ciencia forense? 254
La reacción en cadena de la polimerasa amplifica una secuencia específica de DNA 254
La elección de los iniciadores determina cuáles secuencias de DNA se amplifican 255
La electroforesis en gel separa los segmentos del DNA 256
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Aguas termales y la ciencia del calor 256
Las sondas de DNA se emplean para etiquetar secuencias de nucleótidos específicas 257
Cada individuo tiene su propio perfil de DNA 258

13.4 ¿Cómo se utiliza la biotecnología en la agricultura? 258
Muchos cultivos se modifican genéticamente 258
Las plantas genéticamente modificadas sirven para elaborar medicamentos 260
Los animales genéticamente modificados pueden ser de utilidad en agricultura y en medicina 261

13.5 ¿Cómo se emplea la biotecnología para aprender sobre el genoma humano? 261

13.6 ¿Cómo se utiliza la biotecnología en el diagnóstico médico y en el tratamiento de las enfermedades? 262
La tecnología del DNA puede emplearse para diagnosticar trastornos hereditarios 262
La tecnología del DNA ayuda a tratar las enfermedades 264

13.7 ¿Cuáles son las principales implicaciones éticas de la biotecnología moderna? 265
ENLACES CON LA VIDA Biotecnología, de lo sublime a lo ridículo 266
¿Deberían permitirse en la agricultura los organismos genéticamente modificados? 266
GUARDIÁN DE LA BIOTECNOLOGÍA Arroz dorado 267
GUARDIÁN DE LA SALUD Diagnóstico genético prenatal 268
¿Debería cambiarse el genoma humano con la biotecnología? 270

UNIDAD 3 Evolución y diversidad de la vida 275

14 Principios de la evolución 276

ESTUDIO DE CASO ¿Qué tan útiles son las muelas del juicio? 277

14.1 ¿Cómo se desarrollaron las ideas sobre la evolución? 278
- Los primeros estudios de biología no incluían el concepto de evolución 278
- La exploración de nuevos territorios reveló una sorprendente diversidad de la vida 279
- Algunos científicos especularon que la vida había evolucionado 279
- Los descubrimientos de fósiles demostraron que la vida había cambiado a lo largo del tiempo 279
- Algunos científicos idearon explicaciones no evolutivas a partir de los fósiles 280
- La geología ofreció la evidencia de que la Tierra es sumamente antigua 280
- Algunos biólogos anteriores a Darwin propusieron mecanismos de evolución 281
- Darwin y Wallace describieron un mecanismo de evolución 281
- INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Charles Darwin: La naturaleza era su laboratorio 282

14.2 ¿Cómo sabemos que ha habido evolución? 282
- Los fósiles ofrecen evidencias del cambio evolutivo al paso del tiempo 283
- La anatomía comparada ofrece evidencia de que la descendencia ha sufrido modificaciones 283
- Las etapas embrionarias de los animales sugieren la existencia de antepasados comunes 286
- Los análisis bioquímicos y genéticos modernos ponen de manifiesto el parentesco entre diversos organismos 286

14.3 ¿Cómo funciona la selección natural? 288
- La teoría de Darwin y Wallace se basa en cuatro postulados 288
- Postulado 1: Las poblaciones varían 288
- Postulado 2: Los rasgos se heredan 289
- Postulado 3: Algunos individuos no logran sobrevivir y reproducirse 289
- Postulado 4: El éxito reproductivo no es aleatorio 289
- La selección natural modifica las poblaciones al paso del tiempo 289

14.4 ¿Qué pruebas se tienen de que las poblaciones evolucionan por selección natural? 289
- La reproducción controlada modifica los organismos 289
- La evolución por selección natural ocurre en la actualidad 290

14.5 Epílogo de Charles Darwin 292

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO
Qué tan útiles son las muelas del juicio 292

15 Cómo evolucionan los organismos 294

ESTUDIO DE CASO Evolución de una amenaza 295

15.1 ¿Cómo se relacionan las poblaciones, los genes y la evolución? 296
- La evolución es el cambio de la frecuencia de alelos dentro de una población 297
- La población en equilibrio es una población hipotética donde no ocurre la evolución 297
- DE CERCA El principio de Hardy-Weinberg 298

15.2 ¿Qué causa la evolución? 298
- Las mutaciones son la fuente original de la variabilidad genética 298
- El flujo de genes entre poblaciones cambia las frecuencias de alelos 300
- Las frecuencias de alelos pueden cambiar en poblaciones pequeñas 300
- El apareamiento dentro de una población casi nunca es fortuito 304
- No todos los genotipos son igualmente benéficos 304

15.3 ¿Cómo funciona la selección natural? 306
- La selección natural es en realidad una reproducción diferencial 306
- La selección natural actúa sobre los fenotipos 306
- Algunos fenotipos se reproducen con mayor éxito que otros 306
- GUARDIÁN DE LA TIERRA Especies en peligro de extinción: De la poza génica a los "charcos de genes" 308
- La selección influye en las poblaciones de tres formas 309

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO
Evolución de una amenaza 311

16 El origen de las especies 314

ESTUDIO DE CASO Un mundo perdido 315

16.1 ¿QUÉ ES UNA ESPECIE? 316
- Los biólogos necesitan una clara definición de especie 316
- Las especies son grupos de poblaciones que se cruzan entre sí 316
- La apariencia resulta engañosa 316

16.2 ¿Cómo se conserva el aislamiento reproductivo entre las especies? 317
- Los mecanismos de aislamiento anteriores al apareamiento impiden que especies diferentes se apareen 317
- Los mecanismos de aislamiento posteriores al apareamiento limitan la descendencia híbrida 319

16.3 ¿Cómo se forman nuevas especies? 320
- La separación geográfica de una población conduce a la especiación alopátrica 321
- GUARDIÁN DE LA TIERRA Hibridación y extinción 322
- El aislamiento ecológico de una población conduce a la especiación simpátrica 322
- En ciertas condiciones, pueden surgir muchas nuevas especies 324

16.4 ¿A qué se debe la extinción? 324
La distribución localizada y la especialización excesiva aumentan la vulnerabilidad de las especies ante los cambios ambientales 324
Las interacciones con otros organismos pueden llevar a una especie a su extinción 325
DE CERCA Especiación por mutación 326
El cambio y la destrucción del hábitat son las causas principales de la extinción 326
CONEXIONES EVOLUTIVAS Los científicos no ponen en duda la evolución 326
ENLACES CON LA VIDA Los nombres científicos y la vanidad 328
OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Un mundo perdido 328

17 Historia de la vida 330

ESTUDIO DE CASO Gente pequeña, historia grande 331
17.1 ¿Cómo empezó la vida? 332
Los experimentos refutaron la generación espontánea 332
Los primeros organismos vivos surgieron de los no vivos 332
El RNA pudo haber sido la primera molécula en autorreplicarse 334
Las microesferas membranosas pudieron haber encerrado las ribozimas 334
Pero, ¿realmente sucedió todo esto? 334
17.2 ¿Cómo eran los primeros organismos? 335
Los primeros organismos fueron procariotas anaerobios 335
Algunos organismos adquirieron la capacidad de captar la energía solar 337
La fotosíntesis aumentó la cantidad de oxígeno en la atmósfera 337
El metabolismo aeróbico surgió como respuesta a la crisis del oxígeno 337
Algunos organismos adquirieron organelos encerrados en membranas 337
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA ¿Cómo sabemos qué tan antiguo es un fósil? 338
17.3 ¿Cómo eran los primeros organismos multicelulares? 339
Algunas algas se volvieron multicelulares 340
La diversidad animal surgió en la era precámbrica 340
17.4 ¿Cómo llegó la vida a la tierra firme? 340
17.5 ¿Cuál ha sido el papel de la extinción en la historia de la vida? 344
La historia de la evolución ha estado marcada por extinciones periódicas en masa 345
El cambio climático contribuyó con las extinciones en masa 345
Los sucesos catastróficos pudieron haber causado las peores extinciones en masa 346
17.6 ¿Cómo evolucionaron los seres humanos? 346
Los seres humanos heredaron algunas adaptaciones de antiguos primates para vivir en los árboles 346
Los fósiles del homínido más antiguo provienen de África 347
Los homínidos más antiguos podían mantenerse en pie y caminar erguidos 347
Varias especies de *Australopithecus* surgieron en África 349
El género *Homo* se derivó del australopitecino hace 2.5 millones de años 349
La evolución del *Homo* estuvo acompañada por adelantos en la tecnología de las herramientas 349
Los hombres de Neanderthal tenían cerebros grandes y excelentes herramientas 350
Los seres humanos modernos surgieron hace menos de 200,000 años 350
Varias oleadas de homínidos emigraron de África 351
El origen evolutivo de los cerebros grandes quizás esté relacionado con el consumo de carne 351
El origen evolutivo de la conducta humana es altamente especulativo 353
La evolución cultural de los seres humanos es ahora mucho más rápida que la evolución biológica 353
OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO
Gente pequeña, historia grande 353

18 Sistemática: Búsqueda de orden en medio de la diversidad 356

ESTUDIO DE CASO El origen de un asesino 357
18.1 ¿Cómo se nombran y clasifican los organismos? 358
Cada especie tiene un nombre único constituido por dos elementos 358
La clasificación se originó como una jerarquía de categorías 358
Los sistemáticos identifican las características que revelan las relaciones evolutivas 358
La anatomía desempeña un papel clave en la sistemática 359
Las semejanzas moleculares también son útiles para reconstruir la filogenia 360
18.2 ¿Cuáles son los dominios de la vida? 360
El sistema de cinco reinos mejoró los esquemas de clasificación 360
El sistema de tres dominios refleja con más precisión la historia de la vida 360
La clasificación en términos de reinos aún no está totalmente establecida 361
DE CERCA Reconstrucción de los árboles filogenéticos 362
18.3 ¿Por qué cambian las clasificaciones? 364
La designación de las especies cambia cuando se descubre nueva información 364
La definición de especie biológica en ocasiones es difícil o imposible de aplicar 364
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

18.4 ¿Cuántas especies existen? 366
ENLACES CON LA VIDA Un mundo pequeño 367
OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DEL CASO:
El origen de un asesino 367

19 La diversidad de los procariotas y los virus 370

ESTUDIO DE CASO: Agentes de muerte 371

19.1 ¿Cuáles son los organismos que constituyen los dominios procarióticos Bacteria y Archaea? 372
Las bacterias y las arqueas son fundamentalmente diferentes 372
Los procariotas dentro de cada dominio son difíciles de clasificar 372
Los procariotas difieren en tamaño y forma 373

19.2 ¿Cómo sobreviven y se reproducen los procariotas? 373
Algunos procariotas son móviles 373
Muchas bacterias forman películas en las superficies 373
Las endosporas protectoras permiten a algunas bacterias soportar condiciones adversas 374
Los procariotas se especializan en hábitat específicos 374
Los procariotas presentan diversos tipos de metabolismo 375
Los procariotas se reproducen por fisión binaria 375
Los procariotas pueden intercambiar material genético sin reproducirse 376

19.3 ¿Cómo afectan los procariotas a los humanos y a otros eucariotas? 376
Los procariotas desempeñan papeles importantes en la nutrición animal 376
Los procariotas captan el nitrógeno que necesitan las plantas 376
Los procariotas son los recicladores de la naturaleza 376
Los procariotas pueden reducir la contaminación 377
Algunas bacterias constituyen una amenaza para la salud de los seres humanos 377
ENLACES CON LA VIDA Comensales indeseables 378

19.4 ¿Qué son los virus, los viroides y los priones? 379
Un virus consiste en una molécula de DNA o RNA envuelta en una cubierta proteica 380
Los virus son parásitos 380
Algunos agentes infecciosos son aún más simples que los virus 381
DE CERCA ¿Cómo se replican los virus? 382
Nadie sabe con certeza cómo se originaron estas partículas infecciosas 383
OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO
Agentes de muerte 384

20 La diversidad de los protistas 386

ESTUDIO DE CASO: El monstruo verde 387

20.1 ¿Qué son los protistas? 388
La mayoría de los protistas son unicelulares 389
Los protistas presentan diversas formas de nutrición 389
Los protistas emplean diversas formas de reproducción 389
Los protistas provocan efectos importantes en los humanos 390

20.2 ¿Cuáles son los principales grupos de protistas? 390
Los excavados carecen de mitocondrias 390
Los euglenozoos tienen mitocondrias características 391
Los stramenopiles incluyen organismos fotosintéticos y no fotosintéticos 392
Los alveolados incluyen parásitos, depredadores y fitoplancton 393
Los cercozoos tienen seudópodos delgados y conchas complejas 395
Los amebozoos habitan en ambientes acuáticos y terrestres 397
Las algas rojas habitan principalmente en los océanos tropicales de aguas transparentes 398
La mayoría de las algas verdes habitan en estanques y lagos 399
CONEXIONES EVOLUTIVAS
Nuestros ancestros unicelulares 400
OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO: El monstruo verde 400

21 La diversidad de las plantas 402

ESTUDIO DE CASO La reina de los parásitos 403

21.1 ¿Cuáles son las principales características de las plantas? 404
En las plantas se alternan las generaciones multicelulares haploides y diploides 404
Las plantas tienen embriones multicelulares y dependientes 404
Las plantas desempeñan un papel ecológico fundamental 404
Las plantas satisfacen las necesidades de los humanos y halagan sus sentidos 405

21.2 ¿Cuál es el origen evolutivo de las plantas? 405
Las algas verdes dieron origen a las plantas terrestres 405
Los ancestros de las plantas vivieron en aguas dulces 405

21.3 ¿Cómo se adaptaron las plantas a la vida en la tierra? 406
El cuerpo de las plantas resiste la gravedad y la sequía 406
Los embriones de las plantas están protegidos y sus células sexuales se dispersan en ausencia de agua 406

21.4 ¿Cuáles son los principales grupos de plantas? 407
Las briofitas carecen de estructuras de conducción 407
Las plantas vasculares tienen vasos conductores que también brindan sostén 410
Las plantas vasculares sin semilla incluyen los licopodios, las colas de caballo y los helechos 410
Las plantas con semilla dominan la Tierra con la ayuda de dos adaptaciones importantes: el polen y las semillas 410
Las gimnospermas son plantas con semilla que carecen de flores 410
Las angiospermas son plantas con semilla que dan flores 416
Las plantas que evolucionaron más recientemente tienen gametofitos más pequeños 416
OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO

22 La diversidad de los hongos 422

ESTUDIO DE CASO: Hongos descomunales 423

22.1 ¿Cuáles son las principales características de los hongos? 424
- El cuerpo de los hongos se compone de filamentos 424
- Los hongos obtienen sus nutrimentos de otros organismos 424
- Los hongos se propagan a través de esporas 424
- La mayoría de los hongos se pueden reproducir tanto sexual como asexualmente 425

22.2 ¿Cuáles son los principales tipos de hongos? 425
- Los quitridiomicetos producen esporas natatorias 425
- Los cigomicetos se reproducen formando esporas diploides 426
- Los ascomicetos forman esporas en una funda semejante a un saco 429
- Los basidiomicetos producen estructuras reproductoras con forma de clava 429

22.3 ¿De qué manera interactúan los hongos con otras especies? 430
- Los líquenes se componen de hongos que viven con algas o bacterias fotosintéticas 430
- Las micorrizas son hongos asociados con las raíces de plantas 432
- Los endófitos son hongos que viven dentro de los tallos y las hojas de las plantas 432
- Algunos hongos son recicladores importantes 432

22.4 ¿Cómo afectan los hongos a los seres humanos? 433
- Los hongos atacan plantas que son importantes para las personas 433
- Los hongos producen enfermedades humanas 434
- Los hongos pueden producir toxinas 434
- Muchos antibióticos se derivan de los hongos 434
- GUARDIÁN DE LA TIERRA El caso de las setas que desaparecen 435
- Los hongos hacen importantes aportaciones a la gastronomía 435
- CONEXIONES EVOLUTIVAS El ingenio de los hongos: Cerdos, escopetas y lazos 435
- ENLACES CON LA VIDA Recolecta con cuidado 436

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Hongos descomunales 437

23 Diversidad animal I: Invertebrados 440

ESTUDIO DE CASO Búsqueda de un monstruo marino 441

23.1 ¿Cuáles son las principales características de los animales? 442

23.2 ¿Qué características anatómicas marcan los puntos de bifurcación en el árbol evolutivo de los animales? 442

23.3 ¿Cuáles son los principales fila de animales? 445
- Las esponjas tienen un cuerpo simple 445
- Los cnidarios son depredadores bien armados 447
- Los gusanos planos tienen órganos pero carecen de sistemas respiratorio y circulatorio 450
- Los anélidos están formados por segmentos idénticos 451
- La mayoría de los moluscos tienen conchas 453
- ENLACES CON LA VIDA Ayudantes de cirujanos 454
- Los artrópodos son los animales que dominan la Tierra 456
- Los gusanos redondos abundan y en su mayoría son diminutos 462
- Los equinodermos tienen un esqueleto de carbonato de calcio 463
- Los cordados incluyen a los vertebrados 464

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Búsqueda de un monstruo marino 464

24 Diversidad animal II: Vertebrados 468

ESTUDIO DE CASO: Historia de peces 468

24.1 ¿Cuáles son las características distintivas de los cordados? 470
- Todos los cordados comparten cuatro estructuras distintivas 470
- Los cordados invertebrados habitan en los mares 471
- Los vertebrados tienen espina dorsal 471

24.2 ¿Cuáles son los principales grupos de vertebrados? 472
- Algunos vertebrados carecen de mandíbulas 472
- Los peces con mandíbulas dominan las aguas de la Tierra 473
- Los anfibios tienen una doble vida 475
- GUARDIÁN DE LA TIERRA Ranas en peligro 476
- Los reptiles y las aves se han adaptado a la vida terrestre 477
- Los mamíferos producen leche para sus crías 480
- CONEXIONES EVOLUTIVAS ¿Los seres humanos son un éxito biológico? 482
- ENLACES CON LA VIDA ¿Los animales pertenecen a los laboratorios? 483

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Historia de peces 484

UNIDAD 4 Comportamiento y ecología 487

25 Comportamiento animal 488

ESTUDIO DE CASO Sexo y simetría 489

25.1 ¿En qué difieren los comportamientos innatos y los aprendidos? 490
- Los comportamientos innatos no requieren experiencia previa 490
- Los comportamientos aprendidos se modifican con la experiencia 490

No hay una distinción importante entre comportamientos innatos y aprendidos 492

25.2 ¿Cómo se comunican los animales? 495
La comunicación visual es la más eficaz a distancias cortas 495
La comunicación por sonido es eficaz a distancias más largas 496
Los mensajes químicos persisten más tiempo y es difícil variarlos 496
La comunicación por tacto ayuda a establecer vínculos sociales 497

25.3 ¿Cómo compiten los animales por recursos? 497
Un comportamiento agresivo ayuda a obtener y conservar recursos 497
Las jerarquías de dominancia ayudan a controlar las interacciones agresivas 498
Los animales podrían defender territorios que contienen recursos 499

25.4 ¿Cómo encuentran pareja los animales? 501
Las señales vocales y visuales codifican el sexo, la especie y la calidad individual 501

25.5 ¿Qué tipos de sociedades forman los animales? 502
La vida en grupo tiene ventajas y desventajas 502
El comportamiento social varía entre especies 502
La formación de grupos con parientes fomenta el desarrollo del altruismo 503
Las abejas viven juntas en sociedades de estructura rígida 504
Las ratas topo desnudas forman una sociedad compleja de vertebrados 505

25.6 ¿La biología logra explicar el comportamiento humano? 506
El comportamiento de los recién nacidos tiene un componente innato importante 506
Los humanos adquieren el lenguaje fácilmente desde pequeños 506
Los comportamientos comunes a culturas diversas podrían ser innatos 507
Las personas podrían responder a feromonas 507
Estudios con gemelos revelan los componentes genéticos del comportamiento 508
La investigación biológica del comportamiento humano genera controversia 508
CONEXIONES EVOLUTIVAS ¿Por qué juegan los animales? 508

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Sexo y simetría 509

26 Crecimiento y regulación de las poblaciones 512

ESTUDIO DE CASO El misterio de la Isla de Pascua 513

26.1 ¿Cómo cambian de tamaño las poblaciones? 514
El potencial biótico puede generar un crecimiento exponencial 514

26.2 ¿Cómo se regula el crecimiento de las poblaciones? 515
El crecimiento exponencial ocurre sólo en condiciones especiales 515
La resistencia ambiental limita el crecimiento de las poblaciones 518
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Ciclos en las poblaciones de presas y depredadores 519

26.3 ¿Cómo se distribuyen las poblaciones en el espacio y en el tiempo? 524

26.4 ¿Cómo está cambiando la población humana? 526
Los demógrafos estudian los cambios en la población humana 526
La población humana continúa creciendo rápidamente 526
Los adelantos tecnológicos han incrementado la capacidad de carga de seres humanos en la Tierra 526
GUARDIÁN DE LA TIERRA ¿Hemos excedido la capacidad de carga de la Tierra? 528
El crecimiento demográfico se distribuye de manera desigual 528
La estructura de edades actual de una población predice su crecimiento futuro 529
En Europa la fertilidad está por debajo del nivel de reposición 530
La población de Estados Unidos crece rápidamente 532
ENLACES CON LA VIDA Pisar ligeramente: ¿Qué tan grande es tu "huella"? 533

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO El misterio de la Isla de Pascua 532

27 Interacciones de la comunidad 536

ESTUDIO DE CASO Invasión del mejillón cebra 537

27.1 ¿Por qué son importantes las interacciones de la comunidad? 538

27.2 ¿Cuál es la relación entre el nicho ecológico y la competencia? 538
El nicho ecológico define el lugar y el papel de cada especie en su ecosistema 538
La competencia ocurre siempre que dos organismos intentan utilizar los mismos recursos limitados 538
Las adaptaciones reducen la superposición de nichos ecológicos entre especies que coexisten 539
La competencia interespecífica contribuye a regular el tamaño de la población y la distribución de cada especie 540
La competencia dentro de una especie es un factor primordial en el control del tamaño de la población 540

27.3 ¿Cuáles son los resultados de las interacciones entre los depredadores y sus presas? 540
GUARDIÁN DE LA TIERRA Especies invasoras trastornan las interacciones de la comunidad 541
Las interacciones entre depredador y presa moldean las adaptaciones evolutivas 543

27.4 ¿Qué es la simbiosis? 547

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Hormigas y acacias: una asociación ventajosa 549

27.5 ¿Cómo influyen las especies clave en la estructura de la comunidad? 549

27.6 Sucesión: ¿Cómo cambia una comunidad a través del tiempo? 550

Existen dos formas principales de sucesión: Primaria y secundaria 550

También hay sucesión en los estanques y lagos 553

La sucesión culmina en la comunidad clímax 553

Algunos ecosistemas se mantienen en un estado de subclímax 553

CONEXIONES EVOLUTIVAS: ¿El camuflaje es capaz de dividir una especie? 554

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO La invasión del mejillón cebra 555

28 ¿Cómo funcionan los ecosistemas? 558

ESTUDIO DE CASO El regreso del salmón 559

28.1 ¿Cuáles son las trayectorias de la energía y de los nutrimentos? 560

28.2 ¿Cómo fluye la energía a través de las comunidades? 561

La energía entra en las comunidades por la vía de la fotosíntesis 561

La energía pasa de un nivel trófico a otro 562

La transferencia de energía de un nivel trófico a otro es ineficiente 564

GUARDIÁN DE LA TIERRA Las sustancias tóxicas se acumulan a lo largo de las cadenas alimentarias 566

28.3 ¿Cómo se desplazan los nutrimentos dentro de los ecosistemas y entre ellos? 567

El ciclo del carbono pasa por la atmósfera, los océanos y las comunidades 567

La reserva principal de nitrógeno es la atmósfera 568

El ciclo del fósforo carece de componentes atmosféricos 569

La mayor parte del agua no sufre cambios químicos durante su ciclo 570

28.4 ¿A qué se debe la lluvia ácida? 571

La sobrecarga de los ciclos del nitrógeno y del azufre es la causa de la lluvia ácida 571

La sedimentación ácida daña la vida en lagos y bosques 572

La Ley del Aire Limpio ha reducido significativamente las emisiones de azufre, pero no las de nitrógeno 572

28.5 ¿Qué provoca el calentamiento global? 572

La interferencia en el ciclo del carbono contribuye al calentamiento global 572

Los gases de invernadero retienen el calor en la atmósfera 573

El calentamiento global tendrá graves consecuencias 574

¿Cómo está respondiendo la humanidad a esta amenaza? 575

GUARDIANES DE LA TIERRA Los polos en peligro 576

ENLACES CON LA VIDA Es posible hacer una diferencia 577

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO El regreso del salmón 577

29 Los diversos ecosistemas de la Tierra 580

ESTUDIO DE CASO Alas de esperanza 581

29.1 ¿Qué factores influyen en el clima de la Tierra? 582

El Sol es el motor del clima y del estado del tiempo 582

Muchos factores físicos también influyen en el clima 582

29.2 ¿Qué condiciones son necesarias para la vida? 585

GUARDIÁN DE LA TIERRA El agujero de ozono, una abertura en nuestro escudo protector 586

29.3 ¿Cómo se distribuye la vida en el medio terrestre? 585

Los biomas terrestres sostienen comunidades vegetales características 587

ENLACES CON LA VIDA ¿Disfrutar del chocolate y salvar selvas tropicales? 591

La precipitación pluvial y la temperatura determinan la vegetación que un bioma es capaz de sostener 598

29.4 ¿Cómo se distribuye la vida en el medio acuático? 598

Los ecosistemas de agua dulce incluyen lagos, corrientes y ríos 598

Los ecosistemas marinos cubren gran parte de la Tierra 601

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Alas de esperanza 607

30 Conservación de la biodiversidad de la tierra 610

ESTUDIO DE CASO De regreso de la extinción 611

30.1 ¿Qué es la biodiversidad y por qué debemos cuidarla? 612

Servicios de los ecosistemas: Usos prácticos para la biodiversidad 612

La economía ecológica reconoce el valor monetario de los servicios de los ecosistemas 614

30.2 ¿Está disminuyendo la biodiversidad de la Tierra? 615

La extinción es un proceso natural, pero las tasas se han elevado de forma alarmante 615

GUARDIÁN DE LA TIERRA Restauración de los Everglades 616

Cada vez es mayor el número de especies amenazadas por la extinción 616

30.3 ¿Cuáles son las principales amenazas contra la biodiversidad? 617

La humanidad está acabando con el "capital ecológico" de la Tierra 617

GUARDIÁN DE LA TIERRA

GUARDIÁN DE LA TIERRA En defensa de las tortugas marinas 621

30.4 ¿Cómo puede ayudar la biología de la conservación a preservar la biodiversidad? 623

Fundamentos de la biología de la conservación 623

La biología de la conservación es una ciencia integrada 623

Preservación de los ecosistemas salvajes 623

GUARDIÁN DE LA TIERRA Recuperación de un depredador clave 624

30.5 ¿Por qué la sustentabilidad es la clave de la conservación? 625

La vida y el desarrollo sustentables estimulan el bienestar ecológico y de la humanidad a largo plazo 625

Las reservas de la biosfera ofrecen modelos para la conservación y el desarrollo sustentable 626

La agricultura sustentable ayuda a preservar las comunidades naturales 627

El futuro está en tus manos 627

GUARDIÁN DE LA TIERRA Preservación de la biodiversidad con café cultivado a la sombra 629

ENLACES CON LA VIDA ¿Qué pueden hacer los individuos? 630

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO De regreso a la extinción 629

UNIDAD 5

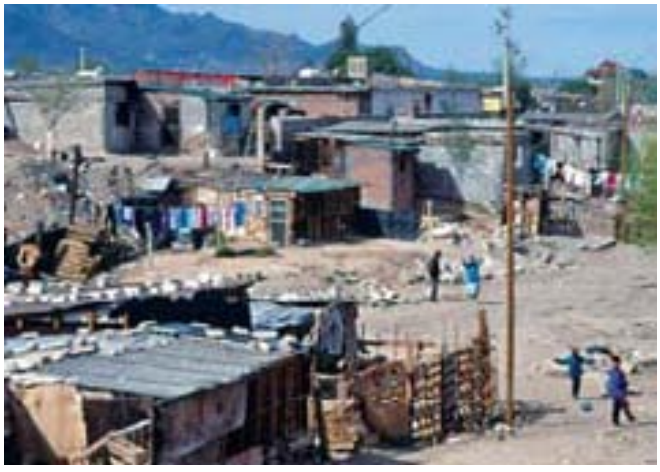
Anatomía y fisiología de los animales 633

31 Homeostasis y organización del cuerpo animal 634

ESTUDIO DE CASO ¿La vida suspendida? 635

31.1 Homeostasis: ¿Cómo regulan los animales su ambiente interno? 636

El ambiente interno se mantiene en un estado de continuidad dinámica 636



Los animales se clasifican por la forma en que regulan su temperatura corporal 636

ENLACES CON LA VIDA ¿Calor o humedad? 637

Los sistemas de retroalimentación regulan las condiciones internas 638

Los sistemas internos del cuerpo actúan de manera coordinada 639

31.2 ¿Cómo está organizado el cuerpo animal? 639

Los tejidos animales se componen de células similares que desempeñan una función específica 639

Los órganos incluyen dos o más tipos de tejidos que interactúan 643

Los sistemas de órganos consisten en dos o más órganos que interactúan 644

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO ¿La vida suspendida? 646

32 Circulación 648

ESTUDIO DE CASO Muerte súbita 649

32.1 ¿Qué características y funciones principales tienen los sistemas circulatorios? 650

Los animales tienen dos tipos de sistemas circulatorios 650

El sistema circulatorio de los vertebrados tiene muy diversas funciones 651

32.2 ¿Cómo funciona el corazón de los vertebrados? 651

Durante la evolución de los vertebrados han surgido corazones cada vez más complejos y eficientes 651

El corazón de los vertebrados consta de dos cavidades musculares que forman dos bombas individuales 652

GUARDIÁN DE LA SALUD Al rescate de los corazones enfermos 654

32.3 ¿Qué es la sangre? 657

El plasma es primordialmente agua en la que se disuelven proteínas, sales, nutrimentos y desechos 658

Los glóbulos rojos llevan oxígeno de los pulmones a los tejidos 658

Los glóbulos blancos ayudan a defender al cuerpo contra las enfermedades 659

Las plaquetas son fragmentos celulares que ayudan a coagular la sangre 659

32.4 ¿Qué tipo de vasos sanguíneos hay y qué funciones tienen? 661

Las arterias y arteriolas son vasos de paredes gruesas que transportan sangre desde el corazón 661

Los capilares son vasos microscópicos que permiten el intercambio de nutrimentos y desechos entre la sangre y las células del cuerpo 661

Las venas y vénulas llevan sangre de regreso al corazón 662

Las arteriolas controlan la distribución del flujo sanguíneo 662

32.5 ¿Cómo colabora el sistema linfático con el circulatorio? 663

Los vasos linfáticos se parecen a las venas y capilares del sistema circulatorio 664

El sistema linfático devuelve líquidos a la sangre 664

El sistema linfático transporta grasas del intestino delgado a la sangre 665

El sistema linfático ayuda a defender al cuerpo contra las enfermedades 665

33 Respiración 668

ESTUDIO DE CASO Vidas que se esfuman 669

33.1 ¿Por qué es necesario El intercambio de gases? 670

33.2 ¿Cuáles son algunas de las adaptaciones evolutivas que permiten el intercambio de gases? 670

Algunos animales de ambientes húmedos carecen de estructuras respiratorias especializadas 671

Los sistemas respiratorios facilitan el intercambio de gases por difusión 671

Las branquias facilitan el intercambio de gases en ambientes acuáticos 672

Los animales terrestres tienen estructuras respiratorias internas 672

DE CERCA Las branquias y los gases: un intercambio contracorriente 674

33.3 ¿Cómo funciona el aparato respiratorio humano? 675

La porción conductora del aparato respiratorio lleva aire a los pulmones 675

El intercambio de gases se efectúa en los alveolos 676

El oxígeno y el dióxido de carbono son transportados por mecanismos distintos 677

GUARDIÁN DE LA SALUD Fumar: una decisión de vida 678

ENLACES CON LA VIDA Quienes abandonan el hábito de fumar son ganadores 680

El aire se inhala activamente y se exhala pasivamente 680

El centro respiratorio del cerebro controla la frecuencia respiratoria 680

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Vidas que se esfuman 681

34 Nutrición y digestion 684

ESTUDIO DE CASO ¿Adelgazar hasta morir? 685

34.1 ¿Qué nutrimentos necesitan los animales? 686

La energía se obtiene de los nutrimentos y se mide en calorías 686

Los lípidos incluyen triglicéridos (grasas), fosfolípidos y colesterol 686

GUARDIÁN DE LA SALUD Cuando se antoja una hamburguesa con queso 687

Los carbohidratos son una fuente de energía rápida 688

Los aminoácidos forman los bloques de construcción de las proteínas 688

Los minerales son elementos indispensables para el cuerpo 688

Las vitaminas desempeñan diversos papeles en el metabolismo 688

Dos terceras partes del cuerpo humano se componen de agua 691

Ciertas pautas nutricionales ayudan a obtener una dieta equilibrada 691

34.2 ¿Cómo se efectúa la digestión? 692

Generalidades de la digestión 692

En las esponjas la digestión se efectúa dentro de células individuales 693

Una bolsa con una abertura es el sistema digestivo más simple 693

La digestión en un tubo permite a los animales alimentarse con mayor frecuencia 693

Especializaciones digestivas 693

34.3 ¿Cómo digieren los alimentos los seres humanos? 695

El desdoblamiento mecánico y químico de los alimentos se inicia en la boca 695

El esófago conduce los alimentos al estómago 697

Casi toda la digestión se efectúa en el intestino delgado 698

GUARDIÁN DE LA SALUD Las úlceras digieren el tracto digestivo 699

Casi toda la absorción se efectúa en el intestino delgado 700

En el intestino grueso se absorbe agua y se forman heces 701

La digestión es controlada por el sistema nervioso y ciertas hormonas 701

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO ¿Adelgazar o morir? 702

35 El sistema urinario 706

ESTUDIO DE CASO Compatibilidad perfecta 707

35.1 ¿Cuáles son las funciones básicas de los sistemas urinarios? 708

35.2 ¿Cuáles son algunos ejemplos de sistemas excretores de invertebrados? 708

Los protonefridios filtran el líquido intersticial en los platelmintos 708

Los túbulos de Malpighi filtran la sangre de los insectos 709

Los nefridios de la lombriz de tierra filtran el líquido celómico 709

35.3 ¿Qué funciones tienen los sistemas urinarios de los vertebrados? 709

Los riñones de los vertebrados filtran la sangre 709

La excreción de los desechos nitrogenados está adaptada al ambiente 709

35.4 ¿Cuáles son las estructuras y funciones del aparato urinario humano? 710

El aparato urinario consta de riñones, uréteres, vejiga y uretra 710

La orina se forma en las nefronas de los riñones 710

El filtrado se convierte en orina en el túbulo de las nefronas 712

DE CERCA Las nefronas y la formación de orina 712

GUARDIÁN DE LA SALUD Cuando los riñones fallan 714

El asa de Henle permite la concentración de la orina 714

35.5 ¿Cómo ayudan los riñones de los mamíferos a conservar la homeostasis? 715

Los riñones liberan hormonas que ayudan a regular la presión arterial y los niveles de oxígeno de la sangre 715

Los riñones vigilan y regulan las sustancias disueltas en la sangre 716

Los riñones de los vertebrados están adaptados a diversos entornos 716

ENLACES CON LA VIDA ¿Demasiado líquido para beber? 717

36 Defensas contra la enfermedad 720

ESTUDIO DE CASO Lucha contra la gripe 721

36.1 ¿Cuáles son los mecanismos de defensa básicos contra la enfermedad? 722
- Los vertebrados tienen tres principales líneas de defensa 722
- Los invertebrados poseen las dos primeras líneas de defensa 722

36.2 ¿Cómo funcionan las defensas no específicas? 723
- La piel y las membranas mucosas forman barreras externas contra la invasión 723
- Defensas internas no específicas combaten a los microbios 723

36.3 ¿Qué características clave tiene la respuesta inmunitaria? 725
- Las células del sistema inmunitario reconocen al invasor 726
- Las células del sistema inmunitario lanzan un ataque 729
- Las células del sistema inmunitario recuerdan sus victorias anteriores 730

36.4 ¿Cómo logra la atención médica mejorar la respuesta inmunitaria? 730
- Las vacunas estimulan el desarrollo de células de memoria 730
- INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA El descubrimiento de las vacunas 732
- Los antibióticos frenan la reproducción microbiana 732

36.5 ¿Qué sucede cuando el sistema inmunitario no funciona correctamente? 733
- Las alergias son respuestas inmunitarias mal dirigidas 733
- GUARDIÁN DE LA SALUD El combate a la influenza: ¿Es inminente una pandemia de gripe aviar? 734
- Una enfermedad autoinmune es una respuesta inmunitaria contra las moléculas del propio cuerpo 734
- Una enfermedad de deficiencia inmunitaria incapacita al sistema inmunitario 735
- El cáncer puede evadir o abatir la respuesta inmunitaria 736

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Lucha contra la gripe 738

37 Control químico del organismo animal: El sistema endocrino 740

ESTUDIO DE CASO Perder por el uso de hormonas artificiales 741

37.1 ¿Cómo se comunican las células animales? 742

37.2 ¿Qué características tienen las hormonas animales? 742
- Las hormonas locales se difunden hacia las células blanco adyacentes 742
- El torrente sanguíneo transporta las hormonas del sistema endocrino 742
- Las hormonas se unen a receptores específicos en las células blanco 743
- Mecanismos de retroalimentación regulan la liberación de hormonas 744
- Las hormonas endocrinas de vertebrados e invertebrados tienen asombrosas similitudes 746

37.3 ¿Qué estructuras y hormonas constituyen el sistema endocrino de los mamíferos? 746
- Las glándulas tiroides y paratiroides influyen en el metabolismo y en los niveles de calcio 750
- El páncreas es una glándula tanto exocrina como endocrina 752
- Los órganos sexuales secretan hormonas esteroides 752
- Las glándulas suprarrenales tienen dos partes que secretan hormonas distintas 753
- GUARDIÁN DE LA TIERRA Engaño endocrino 754
- Otras fuentes de hormonas comprenden la glándula pineal, el timo, los riñones, el corazón, el tracto digestivo y las células grasas 755
- ENLACES CON LA VIDA Más cerca de la cura de la diabetes 756
- CONEXIONES EVOLUTIVAS La evolución de las hormonas 756

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Perder por el uso de hormonas artificiales 757

38 El sistema nervioso y los sentidos 760

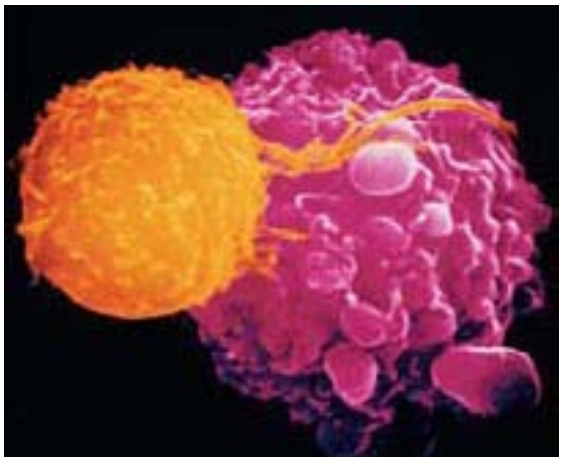
ESTUDIO DE CASO ¿Cómo te amo? 761

38.1 ¿Qué estructura y funciones tienen las neuronas? 762

38.2 ¿Cómo se genera y se transmite la actividad neuronal? 762
- Las neuronas generan voltajes eléctricos a través de sus membranas 762
- Las neuronas se comunican por las sinapsis 763

38.3 ¿Cómo se organizan los sistemas nerviosos? 764
- El procesamiento de la información en el sistema nervioso requiere de cuatro operaciones básicas 764
- DE CERCA Los iones y las señales eléctricas en las neuronas 766
- GUARDIÁN DE LA SALUD Drogas, enfermedades y neurotransmisores 769
- Los caminos neuronales dirigen el comportamiento 770
- Los sistemas nerviosos complejos están centralizados 770

38.4 ¿Cómo se organiza el sistema nervioso humano? 770
- El sistema nervioso periférico vincula al sistema nervioso central con el cuerpo 771
- El sistema nervioso central consiste en la médula espinal y el encéfalo 773
- La médula espinal es un cable de axones protegido por la espina dorsal 773
- El encéfalo consta de varias partes especializadas para desempeñar funciones específicas 774



38.5 ¿Cómo produce el encéfalo la mente? 778
El hemisferio izquierdo y el hemisferio derecho del cerebro se especializan en diferentes funciones 778
Dilucidar los mecanismos del aprendizaje y la memoria es el objetivo de profundas investigaciones 778
El conocimiento de cómo el cerebro crea la mente proviene de diversas fuentes 779
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Neuroimágenes: Una mirada al interior de la "caja negra" 780

38.6 ¿Cómo funcionan los receptores sensoriales? 781

38.7 ¿Cómo se detectan los estímulos mecánicos? 782

38.8 ¿Cómo se detecta el sonido? 782
El oído convierte las ondas sonoras en señales eléctricas 782

38.9 ¿Cómo se detecta la luz? 785
Los ojos compuestos de los artrópodos producen una imagen de mosaico 785
El ojo de los mamíferos capta y enfoca las ondas luminosas y las convierte en señales eléctricas 785

38.10 ¿Cómo se detectan las sustancias químicas? 788
Los receptores olfatorios detectan las sustancias químicas en el aire 788
Los receptores del gusto detectan las sustancias que entran en contacto con la lengua 789
El dolor es un sentido químico especializado 790
CONEXIONES EVOLUTIVAS Sentidos poco comunes 790
Ecolocalización 790
Detección de campos eléctricos 790
Detección de campos magnéticos 791

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO ¿Cómo te amo? 792

39 Acción y sostén: Los músculos y el esqueleto 796

ESTUDIO DE CASO Riesgos ocultos de los viajes espaciales 797

39.1 Una introducción a los sistemas muscular y esquelético 798

39.2 ¿Cómo trabajan los músculos? 798
La estructura y la función de las células de los músculos esqueléticos están íntimamente relacionadas 800
Las contracciones musculares son el resultado del deslizamiento de los filamentos gruesos y delgados 800
El músculo cardiaco acciona al corazón 804
El músculo liso produce contracciones lentas e involuntarias 804

39.3 ¿Qué función desempeña el esqueleto? 804
Entre los animales hay tres tipos de esqueletos 804
El esqueleto de los vertebrados desempeña muchas funciones 805

39.4 ¿Qué tejidos forman el esqueleto de los vertebrados? 806
El cartílago proporciona un sostén flexible y conexiones 806
El hueso brinda al cuerpo un armazón rígido y resistente 806
La remodelación ósea permite la reparación del esqueleto y su adaptación a las tensiones 807
GUARDIÁN DE LA SALUD Cómo se repara un hueso fracturado 808

39.5 ¿Cómo se mueve el cuerpo? 808
Los músculos mueven al esqueleto en torno a articulaciones flexibles 808
GUARDIÁN DE LA SALUD Osteoporosis: Cuando los huesos se vuelven quebradizos 810

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Riesgos ocultos de los viajes espaciales 810
ENLACES CON LA VIDA Caminar con un perro 811

40 Reproducción animal 814

ESTUDIO DE CASO El zoológico congelado 815

40.1 ¿Cómo se reproducen los animales? 816
La reproducción asexual no implica la fusión de espermatozoide y óvulo 816
La reproducción sexual requiere de la unión de un espermatozoide y un óvulo 817

40.2 ¿Cómo funciona el aparato reproductor humano? 820
La capacidad para reproducirse se inicia en la pubertad 820
El tracto reproductor masculino incluye los testículos y las estructuras accesorias 820
El tracto reproductor femenino comprende los ovarios y las estructuras accesorias 823
La cópula permite la fecundación interna 825
DE CERCA El control hormonal del ciclo menstrual 826
GUARDIÁN DE LA SALUD Enfermedades de transmisión sexual 828

40.3 ¿Cómo podemos limitar la fertilidad? 829
La esterilización es un método anticonceptivo permanente 829
La anticoncepción y el aborto evitan o ponen fin al embarazo 829
GUARDIÁN DE LA SALUD Reproducción con alta tecnología 831
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA En busca de un anticonceptivo masculino 832

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO El zoológico congelado 832

41 Desarrollo animal 836

ESTUDIO DE CASO Los rostros del síndrome de alcoholismo fetal 837

41.1 ¿En qué difieren el desarrollo indirecto y el directo? 838
Durante el desarrollo indirecto, los animales sufren un cambio radical en la forma de su cuerpo 838

Los animales recién nacidos que tienen un desarrollo directo parecen adultos en miniatura 839

41.2 ¿Cómo procede el desarrollo animal? 840
Con la segmentación del cigoto se inicia el desarrollo 841
La gastrulación forma tres capas de tejidos 841
Las estructuras adultas se desarrollan durante la organogénesis 841

41.3 ¿Cómo se controla el desarrollo? 842
Cada célula contiene todos los planos genéticos del organismo 842
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA La promesa de las células madre 843
La transcripción genética se regula con precisión durante el desarrollo 844

41.4 ¿Cómo se desarrollan los seres humanos? 845
Durante los primeros dos meses, la diferenciación y el crecimiento son muy rápidos 845
La placenta secreta hormonas y permite el intercambio de materiales entre la madre y el embrión 848
El crecimiento y el desarrollo continúan durante los últimos siete meses 850
El desarrollo culmina con el parto y el alumbramiento 850
Las hormonas del embarazo estimulan la secreción de leche 851
GUARDIÁN DE LA SALUD La placenta sólo brinda una protección parcial 852
El envejecimiento es inevitable 852
ENLACES CON LA VIDA ¿Por qué el parto es tan difícil? 854

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Los rostros del síndrome de alcoholismo fetal 854

UNIDAD 6

Anatomía y fisiología de las plantas 857

42 Anatomía de las plantas y transporte de nutrimentos 858

ESTUDIO DE CASO ¿Por qué las hojas se tiñen de rojo en el otoño? 859

42.1 ¿Cómo está organizado el cuerpo de las plantas y cómo crecen? 860
Las fanerógamas consisten en un sistema de raíces y un sistema de vástago 860
Durante el crecimiento de una planta, células meristemáticas producen células diferenciadas 861

42.2 ¿Qué tejidos y tipos de células tienen las plantas? 862
El sistema de tejido dérmico cubre el cuerpo de la planta 862
El sistema de tejido fundamental constituye casi todo el cuerpo de las plantas jóvenes 863
El sistema de tejido vascular transporta agua y nutrimentos 864

42.3 ¿Cuáles son las estructuras y funciones de las hojas, las raíces y los tallos? 865

42.4 ¿Cómo obtienen nutrimentos las plantas? 873
Las raíces obtienen minerales del suelo 873
Las relaciones simbióticas ayudan a las plantas a obtener nutrimentos 873
DE CERCA ¿Cómo absorben agua y minerales las raíces? 874

42.5 ¿Cómo transportan las plantas el agua de las raíces a las hojas? 876
El movimiento del agua en el xilema se explica con la teoría de cohesión-tensión 876
Estomas ajustables controlan la intensidad de la transpiración 877
GUARDIÁN DE LA TIERRA Las plantas ayudan a regular la distribución del agua 878

42.6 ¿Cómo transportan azúcares las plantas? 879
La teoría de flujo-presión explica el movimiento de azúcares en el floema 879
CONEXIONES EVOLUTIVAS Adaptaciones especiales de raíces, tallos y hojas 880
Algunas raíces especializadas almacenan alimento; otras realizan fotosíntesis 880
Algunos tallos especializados producen plantas nuevas, almacenan agua o alimento, o bien, producen espinas o zarcillos 880
Hojas especializadas conservan y almacenan agua y alimentos e incluso capturan insectos 881

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO ¿Por qué las hojas se tiñen de rojo en el otoño? 883

43 Reproducción y desarrollo de las plantas 886

ESTUDIO DE CASO ¿Hermoso? sí, pero ¿caliente? 887

43.1 ¿Cuáles son las características fundamentales de los ciclos de vida de las plantas? 888
Las plantas participan en el sexo 888
La alternancia de generaciones es evidente en los helechos y los musgos 889

43.2 ¿Cómo se adapta la reproducción en las plantas con semilla a los ambientes secos? 889

43.3 ¿Cuál es la función y la estructura de las flores? 889
La mayoría de las flores atraen a los animales que las polinizan 889
GUARDIÁN DE LA SALUD

Las flores completas tienen cuatro partes principales 892
El polen contiene el gametofito masculino 892
El gametofito femenino se forma dentro del óvulo del ovario 895
La polinización de la flor permite la fecundación 895

43.4 ¿Cómo se desarrollan los frutos y las semillas? 896
El fruto se desarrolla a partir del ovario 896
La semilla se desarrolla a partir del óvulo 896
GUARDIÁN DE LA TIERRA Dodós, murciélagos y ecosistemas perturbados 898

43.5 ¿Cómo germinan y crecen las semillas? 899
El estado de latencia de las semillas ayuda a asegurar la germinación en el momento apropiado 899
En la germinación, la raíz surge primero, seguida del vástago 899
Los cotiledones nutren a la semilla germinada 899

43.6 ¿Cuáles son algunas adaptaciones para la polinización y la dispersión de semillas? 900
La coevolución pone en contacto a plantas y polinizadores 900
Los frutos ayudan a dispersar las semillas 903

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO
¿Hermoso? sí, pero ¿caliente? 904

44 Respuestas de las plantas al ambiente 908

ESTUDIO DE CASO Plantas de rapiña 909

44.1 ¿Qué son las hormonas vegetales y cómo actúan? 910

44.2 ¿Cómo regulan las hormonas el ciclo de vida de las plantas? 911
El ciclo de vida de las plantas comienza con una semilla 911
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA ¿Cómo se descubrieron las hormonas vegetales? 912
La auxina controla la orientación de la plántula que brota 913
La forma genéticamente determinada de la planta adulta es resultado de interacciones hormonales 915
La duración del día controla la floración 916
Las hormonas coordinan el desarrollo de semillas y frutos 918
La senectud y el estado de latencia preparan a la planta para el invierno 919

44.3 ¿Las plantas pueden comunicarse y moverse rápidamente? 920
Las plantas llaman a los "guardianes" cuando son atacadas 920
Las plantas podrían advertir a sus vecinos y a su descendencia de los ataques 920
Algunas plantas se mueven rápidamente 921

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Plantas de rapiña 922

Apéndice I: Conversiones del sistema métrico 925

Apéndice II: Clasificación de los principales grupos de organismos 926

Apéndice III: Vocabulario de biología: raíces, prefijos y sufijos de uso común 927

Glosario G1

Respuestas a las preguntas de pies de figura A1

Créditos fotográficos P1

Índice I1

Prefacio

Nuestros alumnos reciben y continuarán recibiendo un cúmulo de información científica, y muchas veces de información errónea, sobre una diversidad de temas: calentamiento global, cultivos manipulados mediante bioingeniería, investigación sobre células madre, enfermedad de las vacas locas y biodiversidad, entre muchos otros. En un campo en rápida expansión como el de la biología, ¿cómo se decide qué conceptos y hechos comunicar? ¿Qué tipo de conocimiento sobre biología ayudará mejor a los estudiantes a tomar decisiones informadas en relación con sus vidas, en el presente y en el futuro? ¿Qué conocimientos ayudarán a los estudiantes a prepararse mejor para los cursos más avanzados? Hemos revisado la octava edición de *Biología: La vida en la Tierra* reconociendo que no existen respuestas únicas a tales preguntas y con la idea de dar a los usuarios del libro mayores opciones.

Al consultar con educadores comprometidos en la emocionante pero desafiante misión de introducir a los alumnos en el campo de la biología, surgió un consenso: "Necesitamos ayudar a los estudiantes a estar informados en el terreno científico". El conocimiento científico da a un estudiante herramientas mentales para hacer frente al conocimiento en expansión. Esto requiere un fundamento de conocimiento fáctico que provea un marco cognoscitivo en el que pueda integrarse la nueva información. No obstante, el conocimiento científico también incluye la capacidad de captar y evaluar nuevos datos de los medios de información, como la prensa. Un individuo informado en el terreno científico reconoce la interrelación de los conceptos y la necesidad de integrar información proveniente de muchas áreas.

BIOLOGÍA: LA VIDA EN LA TIERRA COMUNICA DE MANERA EFICAZ LA RIQUEZA DE LA INFORMACIÓN CIENTÍFICA

La octava edición de *Biología: La vida en la Tierra* no sólo es un libro revisado y mejorado, sino un paquete completo de herramientas de aprendizaje para los estudiantes, y de enseñanza para los profesores. Nuestras principales metas son:

- Ayudar a los profesores a presentar la información sobre el tema en una forma que fomente el conocimiento científico entre los alumnos.
- Ayudar a los estudiantes a adquirir información de acuerdo con sus propios estilos de aprendizaje.
- Ayudar a los estudiantes a relacionar esta información con sus propias vidas, así como a comprender su importancia y relevancia.

BIOLOGÍA: LA VIDA EN LA TIERRA

…está organizado de manera clara y uniforme

En todos los capítulos, los alumnos encontrarán herramientas que les permitirán navegar a través de la información.

- Cada capítulo inicia con una sección "De un vistazo", en la que se presentan los principales apartados y ensayos de ese capítulo. Los profesores pueden asignar fácilmente —y los estudiantes podrán localizar— los temas clave dentro del capítulo.
- Las secciones principales se presentan con preguntas generales, mientras que los subtítulos son enunciados que resumen y reflejan su contenido más específico. Una importante meta pedagógica de esta organización es el énfasis en la biología como una jerarquía de conceptos interrelacionados, y no como un simple compendio de temas aislados e independientes.
- El "Resumen de conceptos clave" une importantes conceptos utilizando los títulos de mayor jerarquía en el capítulo, y su sistema de numeración permite a los profesores y estudiantes revisar la información de manera eficiente.
- Se incluyen preguntas al final de cada Estudio de caso, en muchos pies de figura, así como en la sección "Aplicación de conceptos". Estas características estimulan a los estudiantes a pensar acerca de la ciencia en vez de sólo memorizar los hechos.

…contiene ilustraciones mejoradas

A partir del consejo de los revisores y del cuidadoso escrutinio de los autores, una vez más hemos mejorado las ilustraciones. Para esta octava edición:

- ***Se agregaron y remplazaron muchas fotografías*** para ayudar a captar el interés del estudiante. La organización del libro, ahora más flexible, permitió incorporar fotografías de plantas y animales que antes sólo se describían en palabras.
- ***Continúa el énfasis en la consistencia del color*** Los colores se utilizan de manera consistente para ilustrar átomos, estructuras y procesos específicos.
- ***Se agregaron más figuras que ilustran procesos clave*** Además de volver a dibujar muchos diagramas para hacerlos más claros e interesantes, agregamos nuevas figuras que ilustran visualmente y concatenan procesos complejos, como el de la fotosíntesis y la respiración celular.
- ***Hay mayor claridad en los rótulos de las figuras*** Hemos agregado recuadros de texto dentro de las figuras para garantizar explicaciones más claras.
- ***Una vez más, en muchos pies de figura se incluyen preguntas que hacen reflexionar al estudiante*** Las respuestas a estas preguntas están disponibles por primera vez al final del libro.

…se actualizó y reorganizó

Incorporamos información acerca de descubrimientos científicos sobre los que los estudiantes quizás hayan leído en los periódicos; la información se ubica en el contexto científico para ayudar a consolidar su conocimiento. Aunque cada capítulo se revisó cuidadosamente, he aquí algunos puntos de interés de la octava edición:

- ***Unidad 1: La vida de la célula*** Nuevos casos introducen al estudiante en el terreno de la bioingeniería y le presentan los enigmáticos priones, responsables de la enfermedad de las vacas locas. En respuesta a las sugerencias de los revisores, hemos invertido el orden de presentación de los capí-

30, "Conservación de la biodiversidad de la Tierra", describe los servicios que prestan los ecosistemas y los intentos por calcular su valor para la humanidad. Se explica cómo las actividades humanas reducen la biodiversidad y se analiza cómo los esfuerzos de conservación y usos sustentables pueden preservar y restaurar los ecosistemas funcionales.

- ***Unidad 5: Anatomía y fisiología de los animales*** Esta unidad se inicia con una cobertura revisada de la homeostasis y la termorregulación. Los estudiantes encontrarán información nueva y actualizada sobre temas vigentes, que incluyen anorexia y obesidad, gripe aviar, la neuroquímica del amor, tecnología reproductiva, nuevos anticonceptivos, enfermedades de transmisión sexual, células madre y síndrome de alcoholismo fetal. Hemos conservado nuestro enfoque en el ser humano brindando información comparativa, nuevos temas como el intercambio de gases contracorriente en los peces, los túbulos de Malpighi en los insectos y nuevas secciones sobre las hormonas y las defensas contra las enfermedades de los invertebrados.

Unidad 2: Herencia

- ***Unidad 6: Anatomía y fisiología de las plantas*** Esta unidad hace alarde de muchas figuras revisadas y nuevas fotos para ilustrar mejor la anatomía y los procesos fisiológicos de las plantas, así como las fascinantes adaptaciones al ambiente. También se amplió la cobertura de los usos agrícolas de las hormonas vegetales.

…compromete y motiva a los estudiantes

Los estudiantes no pueden volverse letrados en ciencia por imposición; deben participar activamente en adquirir tanto la información como las destrezas necesarias para tal efecto. Por ello es crucial que los estudiantes reconozcan que la biología se refiere a sus vidas personales y a la vida a su alrededor. Para ayudar a los estudiantes a comprometerse y a sentirse motivados, esta nueva edición continúa ofreciendo las siguientes características:

Unidad 3: Evolución y diversidad de la vida

- ***Enlaces con la vida*** La breve sección "Enlaces con la vida", escrita de manera informal, se relaciona con temas que son familiares al estudiante, a la vez que relevantes para el capítulo.
- ***Estudios de caso*** En esta octava edición, hemos conservado y actualizado los estudios de caso más relevantes, al tiempo que se introdujeron otros nuevos. Los estudios de caso se basan en asuntos de actualidad, situaciones que atañen a los estudiantes o temas de biología particularmente fascinantes. Al final de cada capítulo, la sección "Otro vistazo al estudio de caso" permite a los estudiantes explorar el tema más a fondo a la luz de lo que aprendieron. Los estudiantes también encontrarán una investigación con mayor profundidad de cada estudio de caso en el sitio Web de este libro.

Unidad 4: Comportamiento y ecología

- ***Bioética*** Muchos temas explorados en el texto tienen implicaciones éticas para la vida humana. Entre ellos se incluyen la ingeniería genética y la clonación, el uso de animales en investigaciones y el efecto de las actividades humanas en otras especies. Ahora están identificados con un icono de bioética que alerta a los estudiantes y profesores sobre la posibilidad de discutir e investigar más ampliamente.
- ***Ensayos*** Conservamos el conjunto completo de ensayos en esta edición. Los recuadros "Guardián de la Tierra" exploran asuntos ambientales de actualidad, mientras que las secciones "Guardián de la salud" se ocupan de temas mé-

dicos. Los ensayos De cerca permiten a los profesores explorar temas selectos con mayor detalle; las secciones "Investigación científica" explican cómo se adquiere el conocimiento científico. Los ensayos bajo el título "Conexiones evolutivas" cierran algunos de los capítulos ubicando los temas en un contexto evolutivo.

…ofrece diferentes medios y complementos

- ***Instructor Resource Center*** Ningún otro libro de texto para este curso ofrece tantas opciones y tanta innovación y calidad en el apoyo al profesor. Los recursos incluyen todo el trabajo de arte del libro (con rótulos, sin rotular y susceptible de editarse), en formato JPEG y en varios archivos de PowerPoint ® que incluyen presentaciones del capítulo, así como cientos de animaciones en segunda y tercera dimensión y simulaciones para hacer presentaciones en PowerPoint ®.
- *Además incluye l*a colección más prestigiada de preguntas de examen en esta materia, revisada y actualizada.
- ***Companion Web site with Grade Tracker* (www.pearsoneducacion.net/audesirk)** Este sitio Web en inglés está disponible las 24 horas los 7 días de la semana y se enfoca en herramientas de estudio para ayudar a los estudiantes a dominar los conceptos del curso. El sitio incluye una guía de orientación *online* para organizar el estudio, cuestionarios de los capítulos para ayudar a los alumnos a determinar qué tan bien conocen la información y 103 tutoriales Web que presentan animaciones y actividades para ayudar a explicar los conceptos más desafiantes en cada capítulo.

RECONOCIMIENTOS

Biología: La vida en la Tierra es en verdad un trabajo de equipo. Nuestra editora de desarrollo Anne Scanlan-Rohrer buscó maneras de hacer el texto más claro, consistente y amigable para los alumnos. El director de arte John Christiana desarrolló y realizó un diseño fresco para esta nueva edición, y la editora de arte Rhonda Aversa coordinó hábilmente el trabajo con las ilustraciones. Las nuevas y mejoradas ilustraciones fueron diseñadas por Artworks con la ayuda de Jay McElroy. La investigadora de fotografía Ivonne Gerin buscó incansablemente fotografías excelentes. Christianne Thillen realizó el trabajo de corrección con meticulosa atención a los detalles. Tim Flem, nuestro editor de producción, reunió el trabajo de arte, las fotografías y el texto en una obra perfectamente integrada y aceptó los cambios de último momento con admirable buen ánimo. El editor de medio Patrick Shriner y la asistente de edición Crissy Dudonis coordinaron la producción de todos los medios y materiales auxiliares de estudio que hicieron posible el paquete completo de *Biología: La vida en la Tierra*. El director de marketing, Mandy Jellerichs, ayudó a crear la estrategia de marketing que comunicara de la manera más eficaz posible nuestro mensaje a la audiencia. Los editores Teresa Chung y Jeff Howard dirigieron el proyecto con energía e imaginación. Agradecemos a Teresa su fe inquebrantable en el proyecto y por reunir un fantástico equipo que lo pusiera en marcha. También agradecemos a Jeff por llevar este enorme proyecto a término con paciencia y destreza.

TERRY Y GERRY AUDESIRK
BRUCE E. BYERS

REVISORES DE LA OCTAVA EDICIÓN

George C. Argyros, *Northeastern University*
Peter S. Baletsa, *Northwestern University*
John Barone, *Columbus State University*
Michael C. Bell, *Richland College*
Melissa Blamires, *Salt Lake Community College*
Robert Boyd, *Auburn University*
Michael Boyle, *Seattle Central Community College*
Matthew R. Burnham, *Jones County Junior College*
Nicole A. Cintas, *Northern Virginia Community College*
Jay L. Comeaux, *Louisiana State University*
Sharon A. Coolican, *Cayuga Community College*
Mitchell B. Cruzan, *Portland State University*
Lewis Deaton, *University of Louisiana-Lafayette*
Dennis Forsythe, *The Citadel*
Teresa L. Fulcher, *Pellissippi State Technical Community College*
Martha Groom, *University of Washington*
Richard Hanke, *Rose State College*
Kelly Hogan, *University of North Carolina-Chapel Hill*
Dale R. Horeth, *Tidewater Community College*
Joel Humphrey, *Cayuga Community College*
James Johnson, *Central Washington University*
Joe Keen, *Patrick Henry Community College*
Aaron Krochmal, *University of Houston-Downtown*
Stephen Lebsack, *Linn-Benton Community College*
David E. Lemke, *Texas State University*
Jason L. Locklin, *Temple College*
Cindy Malone, *California State University-Northridge*
Mark Manteuffel, *St. Louis Community College*
Steven Mezik, *Herkimer County Community College*
Christine Minor, *Clemson University*
Lee Mitchell, *Mt. Hood Community College*
Nicole Moore, *Austin Peay University*
James Mulrooney, *Central Connecticut State University*
Charlotte Pedersen, *Southern Utah University*
Robert Kyle Pope, *Indiana University South Bend*
Kelli Prior, *Finger Lakes Community College*
Jennifer J. Quinlan, *Drexel University*
Robert N. Reed, *Southern Utah University*
Wenda Ribeiro, *Thomas Nelson Community College*
Elizabeth Rich, *Drexel University*
Frank Romano, *Jacksonville State University*
Amanda Rosenzweig, *Delgado Community College*
Marla Ruth, *Jones County Junior College*
Eduardo Salazar, *Temple College*

Brian W. Schwartz, *Columbus State University*
Steven Skarda, *Linn-Benton Community College*
Mark Smith, *Chaffey College*
Dale Smoak, *Piedmont Technical College*
Jay Snaric, *St. Louis Community College*
Phillip J. Snider, *University of Houston*
Gary Sojka, *Bucknell University*
Nathaniel J. Stricker, *Ohio State University*
Martha Sugermeyer, *Tidewater Community College*
Peter Svensson, *West Valley College*
Sylvia Torti, *University of Utah*
Rani Vajravelu, *University of Central Florida*
Lisa Weasel, *Portland State University*
Diana Wheat, *Linn-Benton Community College*
Lawrence R. Williams, *University of Houston*
Michelle Withers, *Louisiana State University*
Taek You, *Campbell University*
Martin Zahn, *Thomas Nelson Community College*
Izanne Zorin, *Northern Virginia Community College-Alexandria*

REALIZADORES Y REVISORES DE MEDIOS DE APOYO Y COMPLEMENTOS

Tamatha Barbeau, *Francis Marion University*
Linda Flora, *Montgomery County Community College*
Anne Galbraith, *University of Wisconsin-La Crosse*
Christopher Gregg, *Louisiana State University*
Theresa Hornstein, *Lake Superior College*
Dawn Janich, *Community College of Philadelphia*
Steve Kilpatrick, *University of Pittsburgh at Johnstown*
Bonnie L. King, *Quinnipiac University*
Michael Kotarski, *Niagara University*
Nancy Pencoe, *University of West Georgia*
Kelli Prior, *Finger Lakes Community College*
Greg Pryor, *Francis Marion University*
Mark Sugalski, *Southern Polytechnic State University*
Eric Stavney, *DeVry University*
Michelle D. Withers, *Louisiana State University*
Michelle Zurawski, *Moraine Valley Community College*

REVISORES DE EDICIONES PREVIAS

W. Sylvester Allred, *Northern Arizona University*
Judith Keller Amand, *Delaware County Community College*
William Anderson, *Abraham Baldwin Agriculture College*
Steve Arch, *Reed College*
Kerri Lynn Armstrong, *Community College of Philadelphia*
G. D. Aumann, *University of Houston*
Vernon Avila, *San Diego State University*
J. Wesley Bahorik, *Kutztown University of Pennsylvania*
Bill Barstow, *University of Georgia-Athens*
Colleen Belk, *University of Minnesota, Duluth*
Michael C. Bell, *Richland College*
Gerald Bergtrom, *University of Wisconsin*
Arlene Billock, *University of Southwestern Louisiana*
Brenda C. Blackwelder, *Central Piedmont Community College*
Raymond Bower, *University of Arkansas*
Marilyn Brady, *Centennial College of Applied Arts and Technology*
Virginia Buckner, *Johnson County Community College*
Arthur L. Buikema, Jr., *Virginia Polytechnic Institute*
J. Gregory Burg, *University of Kansas*
William F. Burke, *University of Hawaii*
Robert Burkholter, *Louisiana State University*
Kathleen Burt-Utley, *University of New Orleans*
Linda Butler, *University of Texas-Austin*
W. Barkley Butler, *Indiana University of Pennsylvania*
Jerry Button, *Portland Community College*
Bruce E. Byers, *University of Massachusetts-Amherst*
Sara Chambers, *Long Island University*
Nora L. Chee, *Chaminade University*
Joseph P. Chinnici, *Virginia Commonwealth University*
Dan Chiras, *University of Colorado-Denver*
Bob Coburn, *Middlesex Community College*
Joseph Coelho, *Culver Stockton College*
Martin Cohen, *University of Hartford*
Walter J. Conley, *State University of New York at Potsdam*
Mary U. Connell, *Appalachian State University*
Jerry Cook, *Sam Houston State University*
Joyce Corban, *Wright State University*
Ethel Cornforth, *San Jacinto College-South*
David J. Cotter, *Georgia College*
Lee Couch, *Albuquerque Technical Vocational Institute*
Donald C. Cox, *Miami University of Ohio*
Patricia B. Cox, *University of Tennessee*
Peter Crowcroft, *University of Texas--Austin*
Carol Crowder, *North Harris Montgomery College*
Donald E. Culwell, *University of Central Arkansas*
Robert A. Cunningham, *Erie Community College, North*
Karen Dalton, *Community College of Baltimore County-Catonsville Campus*
Lydia Daniels, *University of Pittsburgh*
David H. Davis, *Asheville-Buncombe Technical Community College*
Jerry Davis, *University of Wisconsin-La Crosse*
Douglas M. Deardon, *University of Minnesota*
Lewis Deaton, *University of Southwestern Louisiana*
Fred Delcomyn, *University of Illinois-Urbana*
David M. Demers, *University of Hartford*
Lorren Denney, *Southwest Missouri State University*
Katherine J. Denniston, *Towson State University*
Charles F. Denny, *University of South Carolina-Sumter*
Jean DeSaix, *University of North Carolina-Chapel Hill*
Ed DeWalt, *Louisiana State University*
Daniel F. Doak, *University of California-Santa Cruz*
Matthew M. Douglas, *University of Kansas*
Ronald J. Downey, *Ohio University*
Ernest Dubrul, *University of Toledo*
Michael Dufresne, *University of Windsor*

Susan A. Dunford, *University of Cincinnati*
Mary Durant, *North Harris College*
Ronald Edwards, *University of Florida*
Rosemarie Elizondo, *Reedley College*
George Ellmore, *Tufts University*
Joanne T. Ellzey, *University of Texas-El Paso*
Wayne Elmore, *Marshall University*
Thomas Emmel, *University of Florida*
Carl Estrella, *Merced College*
Nancy Eyster-Smith, *Bentley College*
Gerald Farr, *Southwest Texas State University*
Rita Farrar, *Louisiana State University*
Marianne Feaver, *North Carolina State University*
Susannah Feldman, *Towson University*
Linnea Fletcher, *Austin Community College-Northridge*
Charles V. Foltz, *Rhode Island College*
Dennis Forsythe, *The Citadel*
Douglas Fratianne, *Ohio State University*
Scott Freeman, *University of Washington*
Donald P. French, *Oklahoma State University*
Harvey Friedman, *University of Missouri-St. Louis*
Don Fritsch, *Virginia Commonwealth University*
Teresa Lane Fulcher, *Pellissippi State Technical Community College*
Michael Gaines, *University of Kansas*
Irja Galvan, *Western Oregon University*
Gail E. Gasparich, *Towson University*
Farooka Gauhari, *University of Nebraska-Omaha*
John Geiser, *Western Michigan University*
George W. Gilchrist, *University of Washington*
David Glenn-Lewin, *Iowa State University*
Elmer Gless, *Montana College of Mineral Sciences*
Charles W. Good, *Ohio State University-Lima*
Margaret Green, *Broward Community College*
David Grise, *Southwest Texas State University*
Lonnie J. Guralnick, *Western Oregon University*
Martin E. Hahn, *William Paterson College*
Madeline Hall, *Cleveland State University*
Georgia Ann Hammond, *Radford University*
Blanche C. Haning, *North Carolina State University*
Richard Hanke, *Rose State College*
Helen B. Hanten, *University of Minnesota*
John P. Harley, *Eastern Kentucky University*
William Hayes, *Delta State University*
Stephen Hedman, *University of Minnesota*
Jean Helgeson, *Collins County Community College*
Alexander Henderson, *Millersville University*
Timothy L. Henry, *University of Texas-Arlington*
James Hewlett, *Finger Lakes Community College*
Alison G. Hoffman, *University of Tennessee-Chattanooga*
Leland N. Holland, *Paso-Hernando Community College*
Laura Mays Hoopes, *Occidental College*
Michael D. Hudgins, *Alabama State University*
David Huffman, *Southwest Texas State University*
Donald A. Ingold, *East Texas State University*
Jon W. Jacklet, *State University of New York-Albany*
Rebecca M. Jessen, *Bowling Green State University*
J. Kelly Johnson, *University of Kansas*
Florence Juillerat, *Indiana University-Purdue University at Indianapolis*
Thomas W. Jurik, *Iowa State University*
Arnold Karpoff, *University of Louisville*
L. Kavaljian, *California State University*
Jeff Kenton, *Iowa State University*
Hendrick J. Ketellapper, *University of California, Davis*
Jeffrey Kiggins, *Blue Ridge Community College*
Harry Kurtz, *Sam Houston State University*
Kate Lajtha, *Oregon State University*
Tom Langen, *Clarkson University*
Patricia Lee-Robinson, *Chaminade University of Honolulu*
William H. Leonard, *Clemson University*
Edward Levri, *Indiana University of Pennsylvania*
Graeme Lindbeck, *University of Central Florida*
Jerri K. Lindsey, *Tarrant County Junior College-Northeast*
John Logue, *University of South Carolina-Sumter*
William Lowen, *Suffolk Community College*
Ann S. Lumsden, *Florida State University*
Steele R. Lunt, *University of Nebraska-Omaha*
Daniel D. Magoulick, *The University of Central Arkansas*
Paul Mangum, *Midland College*
Richard Manning, *Southwest Texas State University*
Ken Marr, *Green River Community College*
Kathleen A. Marrs, *Indiana University-Purdue University Indianapolis*
Michael Martin, *University of Michigan*
Linda Martin-Morris, *University of Washington*
Kenneth A. Mason, *University of Kansas*
Margaret May, *Virginia Commonwealth University*
D. J. McWhinnie, *De Paul University*
Gary L. Meeker, *California State University, Sacramento*
Thoyd Melton, *North Carolina State University*
Joseph R. Mendelson III, *Utah State University*
Karen E. Messley, *Rockvalley College*
Timothy Metz, *Campbell University*
Glendon R. Miller, *Wichita State University*
Hugh Miller, *East Tennessee State University*
Neil Miller, *Memphis State University*
Jeanne Mitchell, *Truman State University*
Jack E. Mobley, *University of Central Arkansas*
John W. Moon, *Harding University*
Richard Mortenson, *Albion College*
Gisele Muller-Parker, *Western Washington University*
Kathleen Murray, *University of Maine*
Robert Neill, *University of Texas*
Harry Nickla, *Creighton University*
Daniel Nickrent, *Southern Illinois University*
Jane Noble-Harvey, *University of Delaware*
David J. O'Neill, *Community College of Baltimore County-Dundalk Campus*
James T. Oris, *Miami University of Ohio*
Marcy Osgood, *University of Michigan*
C. O. Patterson, *Texas A&M University*
Fred Peabody, *University of South Dakota*
Harry Peery, *Tompkins-Cortland Community College*
Rhoda E. Perozzi, *Virginia Commonwealth University*
Gary B. Peterson, *South Dakota State University*
Bill Pfitsch, *Hamilton College*
Ronald Pfohl, *Miami University of Ohio*
Bernard Possident, *Skidmore College*
Ina Pour-el, *DMACC-Boone Campus*
Elsa C. Price, *Wallace State Community College*
Marvin Price, *Cedar Valley College*
James A. Raines, *North Harris College*
Paul Ramp, *Pellissippi State Technical College*
Mark Richter, *University of Kansas*
Robert Robbins, *Michigan State University*

Jennifer Roberts, *Lewis University*
Chris Romero, *Front Range Community College*
Paul Rosenbloom, *Southwest Texas State University*
K. Ross, *University of Delaware*
Mary Lou Rottman, *University of Colorado-Denver*
Albert Ruesink, *Indiana University*
Connie Russell, *Angelo State University*
Christopher F. Sacchi, *Kutztown University*
Doug Schelhaas, *University of Mary*
Brian Schmaefsky, *Kingwood College*
Alan Schoenherr, *Fullerton College*
Edna Seaman, *University of Massachusetts, Boston*
Patricia Shields, *George Mason University*
Marilyn Shopper, *Johnson County Community College*
Anu Singh-Cundy, *Western Washington University*
Linda Simpson, *University of North Carolina-Charlotte*
Russel V. Skavaril, *Ohio State University*
John Smarelli, *Loyola University*
Shari Snitovsky, *Skyline College*
John Sollinger, *Southern Oregon University*
Sally Sommers Smith, *Boston University*
Jim Sorenson, *Radford University*
Mary Spratt, *University of Missouri, Kansas City*
Bruce Stallsmith, *University of Alabama-Huntsville*
Benjamin Stark, *Illinois Institute of Technology*
William Stark, *Saint Louis University*
Barbara Stebbins-Boaz, *Willamette University*
Kathleen M. Steinert, *Bellevue Community College*
Barbara Stotler, *Southern Illinois University*
Gerald Summers, *University of Missouri-Columbia*
Marshall Sundberg, *Louisiana State University*
Bill Surver, *Clemson University*
Eldon Sutton, *University of Texas-Austin*
Dan Tallman, *Northern State University*
David Thorndill, *Essex Community College*
William Thwaites, *San Diego State University*
Professor Tobiessen, *Union College*
Richard Tolman, *Brigham Young University*
Dennis Trelka, *Washington and Jefferson College*
Sharon Tucker, *University of Delaware*
Gail Turner, *Virginia Commonwealth University*
Glyn Turnipseed, *Arkansas Technical University*
Lloyd W. Turtinen, *University of Wisconsin-Eau Claire*
Robert Tyser, *University of Wisconsin-La Crosse*
Robin W. Tyser, *University of Wisconsin-La Crosse*
Kristin Uthus, *Virginia Commonwealth University*
F. Daniel Vogt, *State University of New York-Plattsburgh*
Nancy Wade, *Old Dominion University*
Susan M. Wadkowski, *Lakeland Community College*
Jyoti R. Wagle, *Houston Community College-Central*
Lisa Weasel, *Portland State University*
Michael Weis, *University of Windsor*
DeLoris Wenzel, *University of Georgia*
Jerry Wermuth, *Purdue University-Calumet*
Jacob Wiebers, *Purdue University*
Carolyn Wilczynski, *Binghamton University*
P. Kelly Williams, *University of Dayton*
Roberta Williams, *University of Nevada-Las Vegas*
Emily Willingham, *University of Texas-Austin*
Sandra Winicur, *Indiana University-South Bend*
Bill Wischusen, *Louisiana State University*
Chris Wolfe, *North Virginia Community College*
Stacy Wolfe, *Art Institutes International*
Colleen Wong, *Wilbur Wright College*
Wade Worthen, *Furman University*
Robin Wright, *University of Washington*
Brenda L. Young, *Daemen College*
Cal Young, *Fullerton College*
Tim Young, *Mercer University*

Acerca de los autores

TERRY Y GERRY AUDESIRK crecieron en Nueva Jersey, donde se conocieron como estudiantes de licenciatura. Después de casarse en 1970, se mudaron a California, donde Terry obtuvo su doctorado en ecología marina en la Universidad del Sur de California y Gerry obtuvo su doctorado en neurobiología en el Instituto Tecnológico de California. Como estudiantes de posdoctorado en los laboratorios marinos de la Universidad de Washington, colaboraron en trabajos sobre las bases neurales del comportamiento, empleando un molusco marino como sistema modelo.

Terry y Gerry son profesores eméritos de biología en la Universidad de Colorado en Denver, donde impartieron las cátedras de introducción a la biología y neurobiología de 1982 a 2006. En su laboratorio de investigación, financiado por los Institutos Nacionales de la Salud, investigaron cómo los niveles bajos de contaminantes ambientales dañan las neuronas y cómo los estrógenos las protegen.

Terry y Gerry comparten un profundo aprecio por la naturaleza y el aire libre. Les gusta excursionar en las Rocallosas, correr cerca de su casa al pie de las montañas al oeste de Denver y tratar de mantener un huerto a 2130 metros de altitud en presencia de alces y venados hambrientos. Pertenecen desde hace tiempo a numerosas organizaciones dedicadas a la conservación del ambiente. Su hija, Heather, ha dado un nuevo enfoque a sus vidas.

BRUCE E. BYERS, originario de la región central norte de Estados Unidos, se trasladó a las colinas del oeste de Massachusetts, y se incorporó como profesor del departamento de biología de la Universidad de Massachusetts, Amherst. Desde 1993 ha sido miembro del cuerpo docente de la UMass, donde también obtuvo su doctorado. Bruce imparte cursos de introducción a la biología para estudiantes de carreras de ciencias biológicas y de otros campos; también de ornitología y comportamiento animal.

Su eterna fascinación por las aves lo llevó a explorar científicamente su biología. Sus investigaciones actuales se centran en la ecología del comportamiento de las aves, sobre todo en la función y evolución de las señales vocales que usan para comunicarse. La búsqueda de vocalizaciones a menudo obliga a Bruce a salir al campo, donde puede encontrársele antes del amanecer, con grabadora en mano, esperando los primeros trinos del nuevo día.

Para Heather, Jack y Lori y en memoria de Eve y Joe

T. A. & G. A.

A Bob y Ruth, con gratitud

B. E. B.

CAPÍTULO

38 El sistema nervioso y los sentidos

El amor: ¿"Una chispa encendida en los ojos de los amantes… una locura más discreta", o sólo la mezcla exacta de sustancias químicas en los cerebros de los enamorados? (Imagen en recuadro) Los ratones de las praderas nos dan información acerca de las bases neuroquímicas del amor.

DE UN VISTAZO

ESTUDIO DE CASO: ¿Cómo te amo?

38.1 ¿Qué estructura y funciones tienen las neuronas?

38.2 ¿Cómo se genera y se transmite la actividad neuronal?

Las neuronas generan voltajes eléctricos a través de sus membranas

Las neuronas se comunican por las sinapsis

38.3 ¿Cómo se organizan los sistemas nerviosos?

El procesamiento de la información en el sistema nervioso requiere de cuatro operaciones básicas

De cerca: Los iones y las señales eléctricas en las neuronas

Guardián de la salud: Drogas, enfermedades y neurotransmisores

Los caminos neuronales dirigen el comportamiento

Los sistemas nerviosos complejos están centralizados

38.4 ¿Cómo se organiza el sistema nervioso humano?

El sistema nervioso periférico vincula al sistema nervioso central con el cuerpo

El sistema nervioso central consiste en la médula espinal y el encéfalo

La médula espinal es un cable de axones protegido por la espina dorsal

El encéfalo consta de varias partes especializadas para desempeñar funciones específicas

38.5 ¿Cómo produce el encéfalo la mente?

El hemisferio izquierdo y el hemisferio derecho del cerebro se especializan en diferentes funciones

Dilucidar los mecanismos del aprendizaje y la memoria es el objetivo de profundas investigaciones

El conocimiento de cómo el cerebro crea la mente proviene de diversas fuentes

Investigación científica: Neuroimágenes: Una mirada al interior de la "caja negra"

38.6 ¿Cómo funcionan los receptores sensoriales?

38.7 ¿Cómo se detectan los estímulos mecánicos?

38. 8 ¿Cómo se detecta el sonido?

El oído convierte las ondas sonoras en señales eléctricas

38.9 ¿Cómo se detecta la luz?

Los ojos compuestos de los artrópodos producen una imagen de mosaico

El ojo de los mamíferos capta y enfoca las ondas luminosas y las convierte en señales eléctricas

38.10 ¿Cómo se detectan las sustancias químicas?

Los receptores olfatorios detectan las sustancias químicas en el aire

Los receptores del gusto detectan las sustancias que entran en contacto con la lengua

El dolor es un sentido químico especializado

Conexiones evolutivas: Sentidos poco comunes

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO ¿Cómo te amo?

ESTUDIO DE CASO ¿CÓMO TE AMO?

"¿Cuál es esa luz que entra por la ventana? Es el este, y Julieta es el Sol".

—*Romeo y Julieta*, acto II, escena II

EN LA OBRA DE SHAKESPEARE, ROMEO Y JULIETA, dos adolescentes se enamoran desde que se encuentran por primera vez. Unas horas después, cuando Romeo observa a Julieta mirando por la ventana, la ve como el Sol que ilumina su vida. *Romeo y Julieta*, de Shakespeare, es una de las expresiones más sublimes del poder del amor romántico, por el que los protagonistas desafían a sus familias y arriesgan no sólo sus fortunas sino también su futuro y por el que, finalmente, dan la vida.

Desde luego, el romance no es la única manifestación de amor. El amor de una madre por sus hijos es igualmente fuerte. La gente también ha definido su vida en función del amor a Dios o a la patria, y muchos han dado su vida en nombre de ello. Pero, ¿qué *es* el amor? Todos estos tipos de amor ¿son distintivos o están relacionados? ¿Qué sucede en el cerebro cuando dos enamorados se encuentran o cuando una madre arrulla a su bebé?

Nadie lo sabe con certeza, al menos no en los seres humanos. Quizá lo más sorprendente es que los neurocientíficos conocen mucho acerca del amor —o al menos de la monogamia, la formación de parejas y el sexo— en un pequeño roedor llamado ratón de la pradera. Si Julieta hubiera sido un ratón de la pradera, su primer encuentro con Romeo habría liberado una corriente de oxitocina, la misma hormona que provoca las contracciones uterinas durante el parto. La oxitocina se habría unido a ciertos receptores en una diminuta parte de su cerebro, llamada el núcleo accumbens, haciendo que las neuronas de ese sitio liberaran una sustancia química llamada dopamina. A causa de la dopamina, ella se habría sentido maravillosamente y, lo más importante, habría vinculado el sentimiento eufórico a Romeo. En el ratón de la pradera que haría "el papel de Romeo", algunas de las moléculas y regiones del cerebro participantes en el proceso habrían diferido, pero el resultado final habría sido muy parecido: un torrente de dopamina lo habría puesto eufórico y se habría dado cuenta de que sólo podría alcanzar ese sentimiento otra vez sólo al lado de Julieta. Entonces, los dos ratones de la pradera se habrían apareado —por unas 24 horas— y el vínculo entre ellos habría sido de por vida. Construirían un nido, vivirían juntos y criarían a su descendencia.

¿Cómo perciben los humanos y otros animales su mundo, incluida la calidez que brinda el Sol, además de los rostros y los olores de sus seres amados? ¿Cómo evalúan lo que perciben, y cómo logran sentirse calmados o excitados, temerosos o agresivos? Por último, ¿cómo responden con comportamientos apropiados como descansar, comer o aparearse? Aunque la mayoría de las percepciones y los comportamientos aún no se comprenden del todo, las respuestas a estas preguntas se encuentran en los sentidos y el sistema nervioso. En este capítulo indagaremos primero que nada cómo funcionan las células nerviosas. Luego exploraremos cómo los miles de millones de células en el cerebro se comunican entre sí y cómo los cúmulos de células controlan sensaciones y acciones específicas. Finalmente, veremos que células especializadas, llamadas receptores, responden a los estímulos en el ambiente —ya sea el ambiente externo del mundo que nos rodea, o bien, el ambiente interno de nuestro cuerpo— y transmiten esa información al cerebro, donde se interpreta y se inicia una acción en consecuencia. Y quizá en esos gramos de células anidadas dentro del cráneo, que se comunican entre sí a través de complejas mezclas de sustancias químicas —ya sea a grandes distancias o con las células circunvecinas—, encontremos la naturaleza del amor.

38.1 ¿QUÉ ESTRUCTURA Y FUNCIONES TIENEN LAS NEURONAS?

Una célula individual del sistema nervioso se llama célula nerviosa o **neurona** y desempeña cuatro funciones especializadas:

Recibe información del entorno interno o externo, o de otras neuronas.

Procesa esta información, a menudo junto con información de otras fuentes, y produce una señal eléctrica.

Conduce la señal eléctrica, algunas veces a lo largo de una distancia considerable, hacia un punto de unión donde encuentra otra célula.

Se comunica con otras células, incluidas otras neuronas y células que constituyen músculos o glándulas.

Aunque las neuronas varían considerablemente en su estructura, una neurona "típica" de un vertebrado tiene cuatro regiones estructurales bien definidas que desempeñan las cuatro funciones antes mencionadas. Esas regiones son las *dendritas,* el *cuerpo celular,* el *axón* y las *terminales sinápticas* (FIGURA 38-1).

Las **dendritas** son prolongaciones ramificadas que se extienden del cuerpo de la célula nerviosa y responden a estímulos de otras neuronas o del entorno exterior. Sus múltiples ramificaciones constituyen una amplia área superficial para recibir señales. En las neuronas del cerebro y la médula espinal, las dendritas responden a sustancias químicas llamadas **neurotransmisores**, que son liberadas por otras neuronas. Estas dendritas tienen en su membrana receptores proteicos que se unen a neurotransmisores específicos y, como resultado, producen señales eléctricas. Las dendritas de las *neuronas sensoriales* tienen adaptaciones especiales en su membrana que les permiten producir señales eléctricas como respuesta a estímulos específicos del ambiente externo, como presión, moléculas odoríferas, luz o calor, o bien, del ambiente interno, como temperatura corporal, pH de la sangre o la posición de una articulación.

Las señales eléctricas viajan por las dendritas y convergen en el **cuerpo celular** de la neurona, que desempeña dos funciones principales. En primer lugar, contiene los organelos que por lo general se encuentran en la mayoría de las células —como núcleo, retículo endoplásmico y aparato de Golgi— y desempeña las funciones rutinarias que realizan casi todas las demás células del cuerpo, como sintetizar moléculas complejas y coordinar las actividades metabólicas de la célula. El cuerpo celular también "suma" o *integra* las diversas señales eléctricas que recibe de las dendritas. Como veremos dentro de poco, algunas de estas señales son positivas y otras negativas. Si la suma de todas estas señales tiene una magnitud positiva suficiente, la neurona producirá una gran señal eléctrica rápida y especializada llamada **potencial de acción**.

En una neurona representativa, una fibra larga y delgada llamada **axón** se extiende desde el cuerpo celular y conduce el potencial de acción del cuerpo celular a la terminal sináptica en el extremo del axón, donde hace contacto con otra célula. Un solo axón podría extenderse desde la columna vertebral hasta un dedo del pie, una distancia aproximada de un metro; así que las neuronas son las células más largas del cuerpo. Los axones normalmente forman haces llamados **nervios**, parecidos a los haces de alambres en un cable eléctrico. En los vertebrados, los axones que conforman los nervios salen del

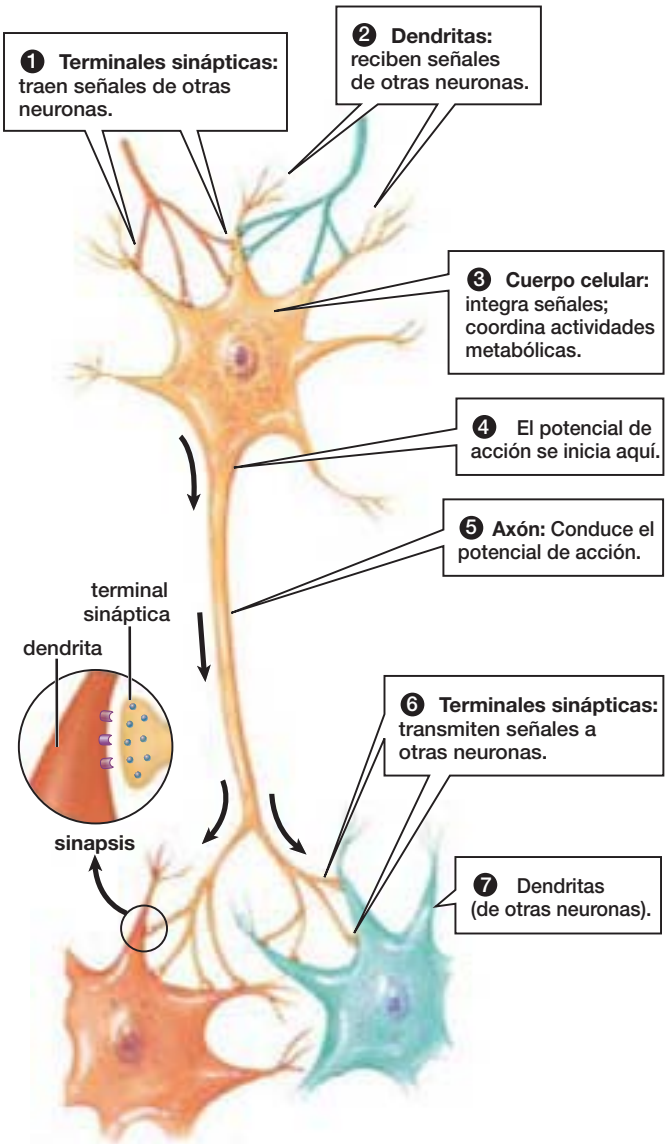

❶ Terminales sinápticas: traen señales de otras neuronas.
❷ Dendritas: reciben señales de otras neuronas.
❸ Cuerpo celular: integra señales; coordina actividades metabólicas.
❹ El potencial de acción se inicia aquí.
❺ Axón: Conduce el potencial de acción.
terminal sináptica
dendrita
sinapsis
❻ Terminales sinápticas: transmiten señales a otras neuronas.
❼ Dendritas (de otras neuronas).

FIGURA 38-1 Célula nerviosa en la que se señalan sus partes especializadas y sus funciones

cerebro y la médula espinal y se extienden a todo el cuerpo.

El punto en el que una neurona se comunica con otra célula se llama **sinapsis**. Una sinapsis típica consiste en: **1.** la **terminal sináptica**, que es un abultamiento en el extremo de un axón de la neurona "emisora"; **2.** una dendrita o cuerpo celular de una neurona "receptora" (o, en ocasiones, la parte "receptora" de una célula muscular o glandular), y **3.** una pequeña brecha que separa las dos células (figura 38-1; véase también la figura 38-3 más adelante en este capítulo). La mayoría de las terminales sinápticas contienen un neurotransmisor que se libera en respuesta a un potencial de acción que llega a la terminal. En una sinapsis, la salida de la primera célula se convierte en la entrada de la segunda célula.

38.2 ¿CÓMO SE GENERA Y SE TRANSMITE LA ACTIVIDAD NEURONAL?

Las neuronas generan voltajes eléctricos a través de sus membranas

En la década de 1930, los biólogos desarrollaron formas de registrar los sucesos eléctricos en el interior de células individua-

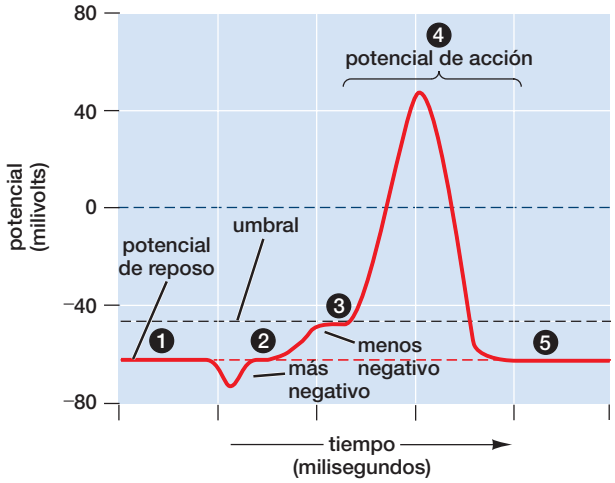


FIGURA 38-2 Sucesos eléctricos durante un potencial de acción
1. Una neurona mantiene un voltaje, llamado potencial de reposo, a través de su membrana plasmática; el potencial de reposo es de aproximadamente –60 mV respecto al exterior. **2.** La estimulación proveniente del ambiente o de otras células puede hacer a la neurona más negativa (desviación hacia abajo) o menos negativa (desviación hacia arriba). **3.** Si el potencial se reduce de 10 a 20 mV, la neurona alcanza el umbral y **4.** produce un breve potencial positivo llamado un potencial de acción. **5.** Después de uno o dos milisegundos, el voltaje a través de la membrana plasmática de la neurona regresa al potencial de reposo.

les. Descubrieron que las neuronas inactivas y no estimuladas mantienen una diferencia de voltaje eléctrico o *potencial* constante a través de su membrana plasmática, similar al que existe entre los polos de una batería. Este potencial, llamado **potencial de reposo**, siempre es negativo dentro de la célula y varía entre –40 y –90 milivolts (mV o milésimas de volt).

Si la neurona recibe un estímulo, ya sea natural o una corriente eléctrica aplicada por un investigador, el potencial dentro de la neurona se puede hacer más o menos negativo (FIGURA 38-2). Si la magnitud negativa del potencial se reduce lo suficiente como para alcanzar un nivel llamado **umbral**, se generará un potencial de acción. Durante un potencial de acción, el potencial de la neurona se eleva rápidamente hasta cerca de +50 mV dentro de la célula. Los potenciales de acción duran unos cuantos milisegundos (milésimas de segundo) y después se restablece el potencial negativo de reposo de la célula. Las membranas plasmáticas de los axones se especializan en conducir potenciales de acción del cuerpo celular de una neurona a las terminales sinápticas del axón. A diferencia de los voltajes eléctricos en los cables metálicos, que se reducen con la distancia, los potenciales de acción son conducidos del cuerpo celular a la terminal del axón, a distancias tan largas como un metro en un ser humano o casi 20 metros en una ballena azul, sin cambio en el voltaje. En "De cerca: Iones y señales eléctricas en las neuronas", examinamos estos potenciales eléctricos con mayor profundidad.

La rapidez con la que viaja un potencial de acción varía considerablemente entre axones. En general, cuanto más grueso es el axón, más rápido se desplaza el potencial de acción. Una forma mucho más efectiva de acelerar la conducción es cubrir el axón con un aislante llamado **mielina** (FIGURA 38-3). La mielina se compone de células especializadas que se adhieren y envuelven al axón, de manera que este último tiene múl-

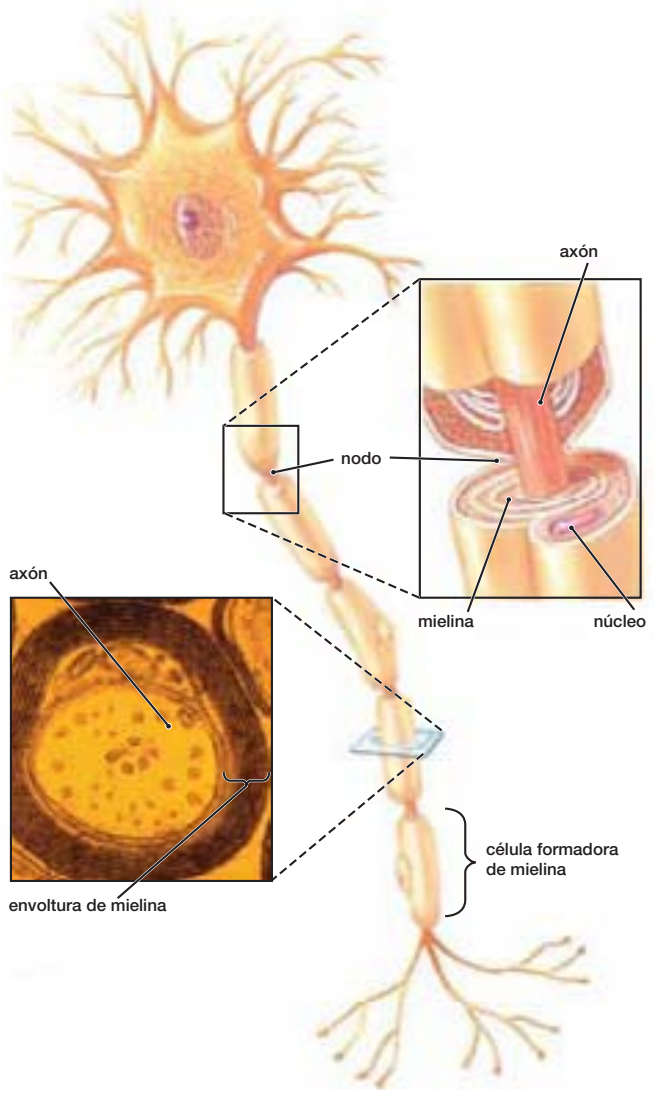


FIGURA 38-3 Un axón mielinizado
Muchos axones de vertebrados están recubiertos con una serie de envolturas membranosas de mielina, que se forman con las membranas enrolladas de células no neuronales especializadas. Los potenciales de acción se registran sólo en los cortos segmentos de los axones descubiertos, llamados nodos, entre cada envoltura de mielina.

tiples envolturas de membrana plasmática especialmente aislada, con escaso citoplasma entre una envoltura y otra. Una célula productora de mielina cubre entre 0.2 y 2 mm del axón, dejando *nodos* descubiertos entre las envolturas de mielina. En vez de viajar continuamente pero muy despacio por el axón (por lo general con una rapidez de uno o dos metros por segundo), los potenciales de acción en los axones mielinizados "brincan" rápidamente de un nodo a otro, a una tasa de 3 a 100 metros por segundo. Los axones de gran diámetro y recubrimiento de mielina son los más rápidos para conducir los potenciales de acción.

Las neuronas se comunican por las sinapsis

Podemos pensar en un potencial de acción como en un paquete de información que se desplaza a lo largo de un axón (paso ①

llega a la terminal sináptica, la información debe transmitirse a otra célula, que podría ser otra neurona, una célula muscular o una célula glandular. Por sencillez sólo describiremos la transmisión de información entre neuronas.

En nuestro lenguaje cotidiano, la palabra "transmitir" significa "enviar algo" y eso es exactamente lo que sucede cuando una célula nerviosa se comunica con otra. Una sinapsis es la unión donde la terminal sináptica de una neurona se encuentra con la dendrita de otra neurona. Sin embargo, las dos neuronas en realidad *no* se tocan: existe una pequeña separación entre la primera, o **neurona presináptica**, y la segunda o **neurona postsináptica**. Por consiguiente, la neurona presináptica debe "enviar algo" a través de esta separación para poder comunicarse con la neurona postsináptica. Lo que envía es una sustancia llamada neurotransmisor. ¿Cómo es posible "enviar" el neurotransmisor a través de esta separación y cómo responde la neurona postsináptica a ello?

La terminal sináptica en el extremo del axón contiene docenas de vesículas, cada una llena de moléculas neurotransmisoras. Cuando un potencial de acción llega a la terminal sináptica, su interior adquiere carga positiva (paso ② en la figura 38-4). Esta carga provoca que algunas de las vesículas liberen neutransmisores en la separación entre las células (paso ③ en la figura 38-4). Este proceso en realidad es un caso especializado de exocitosis (véase el capítulo 4). La superficie exterior de la membrana plasmática de la neurona postsináptica, justo a través de la separación, es empacada con proteínas receptoras. Las moléculas neurotransmisoras se difunden rápidamente a través de la separación y se unen a estos receptores (paso ④ en la figura 38-4).

En las sinapsis se producen potenciales de excitación o inhibición postsinápticos

Cuando un receptor se une a un neurotransmisor, provoca un efímero cambio en el potencial de reposo de la neurona postsináptica que se conoce como **potencial postsináptico** o **PPS** (paso ⑤ en la figura 38-4). Si la neurona postsináptica se vuelve más negativa, su potencial de reposo se aleja del umbral, lo que reduce su probabilidad de iniciar un potencial de acción. Esto se llama un **potencial postsináptico de inhibición (PPSI)**. Si la neurona postsináptica se vuelve menos negativa, entonces su potencial de reposo se acercará al umbral y tendrá más probabilidad de que se presente un potencial de acción. En consecuencia, esto constituye un **potencial postsináptico de excitación (PPSE)**. Los mecanismos por los cuales los neurotransmisores que se unen a los receptores provocan PPS se explican en "De cerca: Iones y señales eléctricas en las neuronas".

La acción de los neurotransmisores por lo general es breve

Considera lo que sucedería si una neurona presináptica comenzara a estimular una célula postsináptica en un proceso sin fin. En tal caso, por ejemplo, contraerías un bíceps, flexionarías un brazo y ¡te quedarías así para siempre! No es de sorprender que el sistema nervioso tenga varias formas de detener la acción de los neurotransmisores (paso ⑥ en la figura 38-4). Algunos neurotransmisores —en especial la acetilcolina, el transmisor que estimula las células del sistema músculo-esquelético— se descomponen rápidamente por la acción de las enzimas en la sinapsis. Muchos neurotransmisores son transportados de regreso a la neurona presináptica.

La actividad de una neurona está determinada en buena parte por la suma de los potenciales postsinápticos

Casi todos los potenciales postsinápticos son señales pequeñas, que se desvanecen rápidamente, pero que viajan suficientemente lejos como para alcanzar el cuerpo celular. Ahí, determinan si un potencial de acción se producirá. ¿Cómo? Las dendritas y el cuerpo celular de una célula individual a menudo reciben PPSE y PPSI de las terminales sinápticas de miles de neuronas presinápticas. Todos los PPS que llegan al cuerpo de la célula postsináptica casi al mismo tiempo se "suman", un proceso llamado *integración* o *suma*. Si los potenciales de excitación e inhibición, al sumarse, elevan el potencial eléctrico dentro de la neurona por encima del umbral, la célula postsináptica producirá un potencial de acción.

El sistema nervioso usa muchos neurotransmisores

Durante las últimas décadas, los investigadores se han convencido de que el cerebro es un caldero en ebullición; sus neuronas sintetizan y responden a una amplia variedad de sustancias, entre ellas muchas de las hormonas que antes se pensaba eran exclusivas del sistema endocrino. Hemos visto ya que la oxitocina, conocida por provocar las contracciones uterinas durante el parto, estimula acciones cruciales en el cerebro que contribuyen al apareamiento en los ratones de la pradera y quizá a hacer surgir el amor en los seres humanos. Otras hormonas que controlan varias funciones del tracto digestivo se sintetizan también en el cerebro, donde influyen en el apetito. Se han identificado por lo menos 50 neurotransmisores, y la lista sigue creciendo. En la **tabla 38-1** presentamos unos cuantos neurotransmisores muy conocidos y algunas de sus funciones. En "Guardián de la salud: Drogas, enfermedades y neurotransmisores", exploraremos más a fondo el papel de los neurotransmisores en las adicciones y las enfermedades neurológicas.

38.3 ¿CÓMO SE ORGANIZAN LOS SISTEMAS NERVIOSOS?

La neurona individual utiliza un lenguaje de potenciales de acción. De algún modo, este lenguaje básico permite a los animales, incluso a los más simples, desarrollar diversos comportamientos complejos. Una clave de la versatilidad del sistema nervioso radica en la presencia de redes complejas de neuronas, las cuales pueden comprender desde docenas hasta millones de células. Al igual que en las computadoras, elementos pequeños y sencillos realizan sorprendentes acciones cuando se les conecta correctamente.

El procesamiento de la información en el sistema nervioso requiere de cuatro operaciones básicas

Como mínimo, un sistema nervioso debe poder realizar cuatro operaciones:

1. Determinar el tipo de estímulo.
2. Determinar e indicar la intensidad de un estímulo.
3. Integrar información de muchas fuentes.
4. Iniciar y dirigir las respuestas apropiadas.

Examinemos cada una de estas operaciones.

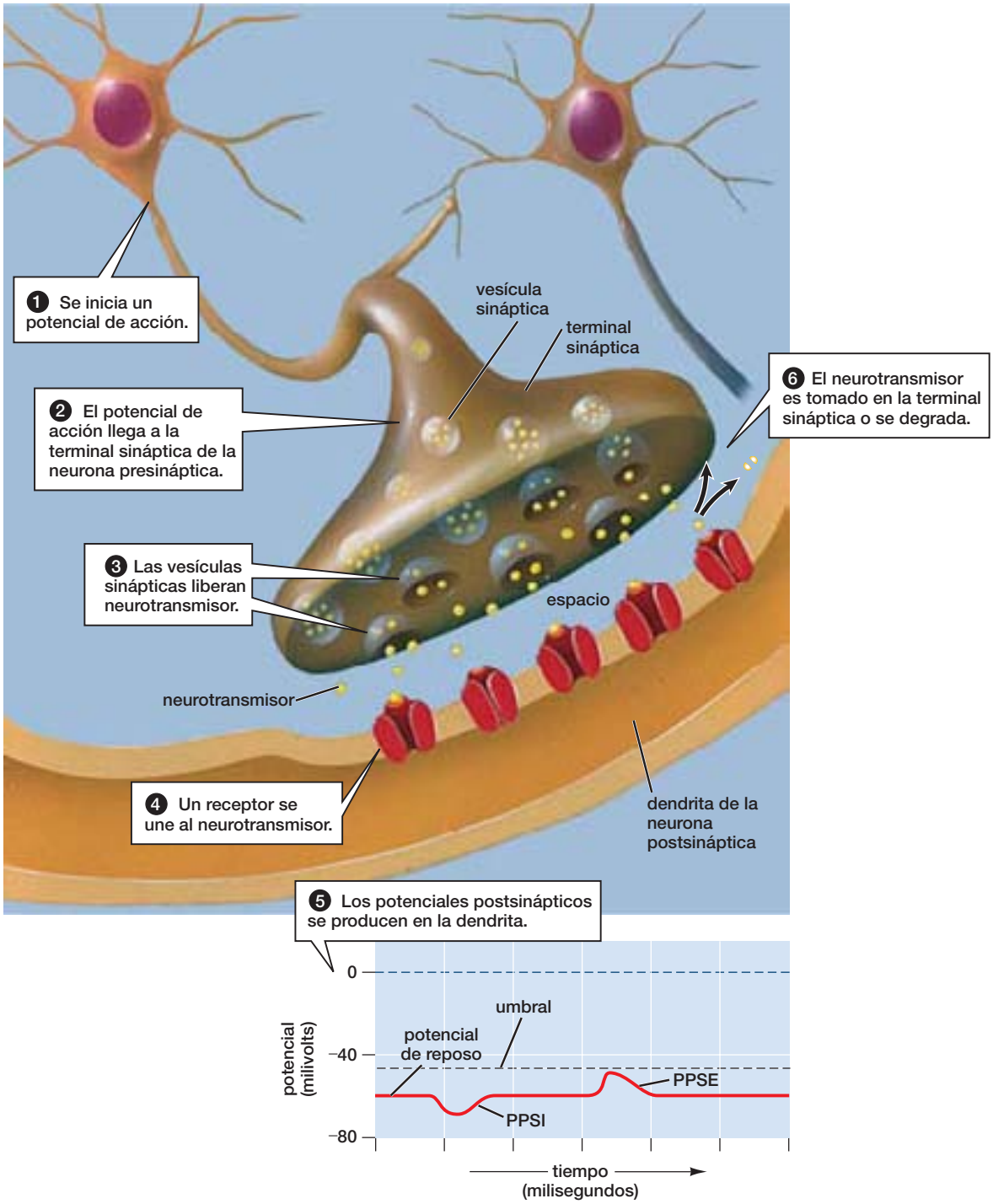

1 Se inicia un potencial de acción.
vesícula sináptica
terminal sináptica
2 El potencial de acción llega a la terminal sináptica de la neurona presináptica.
6 El neurotransmisor es tomado en la terminal sináptica o se degrada.
3 Las vesículas sinápticas liberan neurotransmisor.
espacio
neurotransmisor
4 Un receptor se une al neurotransmisor.
dendrita de la neurona postsináptica
5 Los potenciales postsinápticos se producen en la dendrita.
0
umbral
potencial de reposo
−40
PPSE
PPSI
−80
potencial (milivolts)
tiempo (milisegundos)

FIGURA 38-4 Estructura y funcionamiento de una sinapsis
Una terminal sináptica contiene numerosas vesículas con neurotransmisores. Cuando un potencial de acción llega a la terminal sináptica, las vesículas vacían su neurotransmisor en el espacio entre las neuronas. El neurotransmisor se difunde rápidamente a través de ese espacio y se une a los receptores de la célula postsináptica. En muchos casos, el transmisor que se une a los receptores provoca un cambio en el potencial de reposo de la célula postsináptica, que se conoce como potencial postsináptico (PPS). PREGUNTA: Imagina un experimento en el que las neuronas ilustradas aquí se bañaran con una solución que contiene un veneno para los nervios. La neurona presináptica es estimulada y produce un potencial de acción, pero esto no da por resultado un PPS en la neurona postsináptica. Cuando el experimentador agrega neurotransmisor a la sinapsis, la neurona postsináptica sigue sin producir PPS. ¿Cómo actúa el veneno para perturbar la función nerviosa?

DE CERCA Los iones y las señales eléctricas en las neuronas

LA PERMEABILIDAD AL POTASIO PRODUCE EL POTENCIAL DE REPOSO

El potencial de reposo se basa en un equilibrio entre gradientes químicos y eléctricos, el cual se mantiene mediante transporte activo y una membrana que es selectivamente permeable a iones específicos. Los iones del citoplasma consisten principalmente en iones potasio con carga positiva (K^+) y moléculas orgánicas grandes con carga negativa como ATP y proteínas, las cuales no pueden salir de la célula. Afuera de la célula, el líquido extracelular contiene iones sodio con carga positiva (Na^+) y iones cloruro con carga negativa (Cl^-). Estas diferencias de concentración se mantienen por la acción de una proteína de transporte activo en la membrana plasmática llamada *bomba de sodio-potasio*, la cual bombea simultáneamente K^+ hacia el interior de la célula y Na^+ hacia fuera.

En una neurona no estimulada, sólo el K^+ puede cruzar la membrana plasmática, y lo hace a través de proteínas de membrana específicas llamadas *canales de potasio* (en amarillo). Aunque también hay *canales de sodio* (morado), éstos permanecen cerrados. Puesto que la concentración de K^+ es más alta dentro de la célula que afuera, ese ion tiende a salir por difusión, mientras que los iones orgánicos con carga negativa se quedan en el interior (**FIGURA E38-1**):

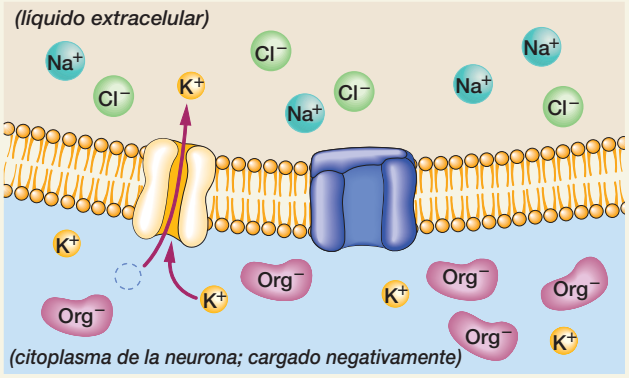


FIGURA E38-1 El potencial de reposo

Conforme el interior de la célula adquiere más carga negativa, los iones positivos de K^+ son atraídos de regreso a la célula. Con el tiempo, el voltaje negativo en el interior de la célula es lo bastante grande como para que la tasa de difusión del K^+ que sale contrarreste la tasa de difusión del K^+ que entra de regreso por atracción eléctrica. Este voltaje negativo es el potencial de reposo de la neurona.

LOS CAMBIOS EN LA PERMEABILIDAD AL SODIO Y POTASIO PRODUCEN EL POTENCIAL DE ACCIÓN

Los potenciales de acción ocurren cuando cambia el potencial de reposo volviéndose menos negativo hasta alcanzar un voltaje llamado umbral (generalmente entre 10 y 20 mV menos negativo que el potencial de reposo). En el umbral, se abren los canales de Na^+ (morado) y esto permite que haya un ingreso rápido de Na^+ (paso ① en la **FIGURA E38-2**).

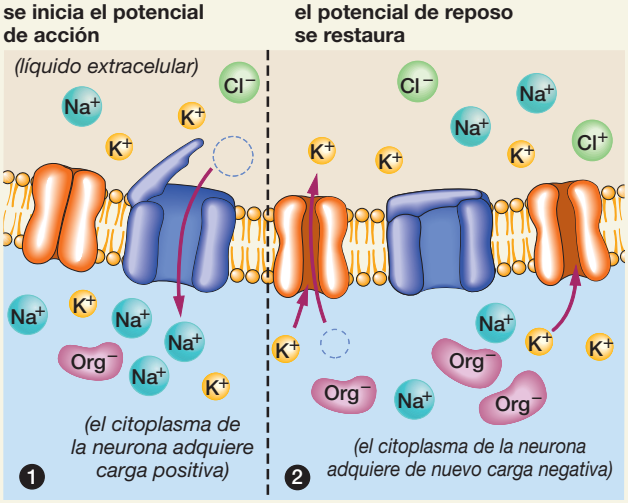


FIGURA E38-2 El potencial de acción

Tan pronto como se abren los canales de Na^+, se cierran de nuevo espontáneamente y un tipo diferente de canal K^+ (anaranjado) se abre por la carga positiva dentro de la neurona, permitiendo que el K^+ salga de la célula y se restablezca el potencial de reposo negativo (paso ② en la **FIGURA E38-2**).

LOS POTENCIALES DE ACCIÓN SON CONDUCIDOS POR LOS AXONES SIN CAMBIAR DE AMPLITUD

Un potencial de acción por lo general se inicia donde el axón emerge del cuerpo celular de una neurona. Ahí semeja una ola de carga positiva en rápido movimiento que viaja, sin merma de su magnitud, a lo largo del axón hacia la terminal sináptica. La carga positiva introducida en el axón por el Na^+ hace que se abran canales de Na^+ más adelante en el axón, por los cuales puede entrar más Na^+, generando un nuevo potencial de acción (**FIGURA E38-3**):

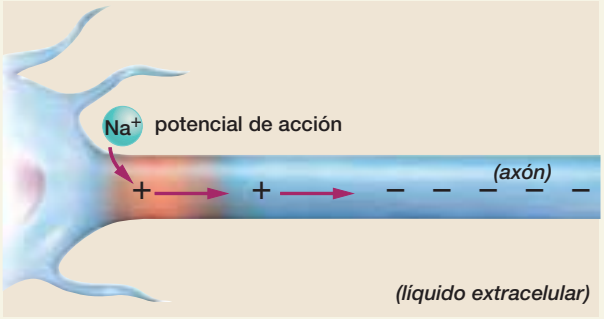


FIGURA E38-3 La entrada del Na+ durante un potencial de acción inicia el movimiento de carga positiva a lo largo de un axón

Conforme la ola de cargas positivas pasa por un punto dado a lo largo del axón, el potencial de reposo se restablece mediante el flujo de K^+ hacia fuera (**FIGURA E38-4**).

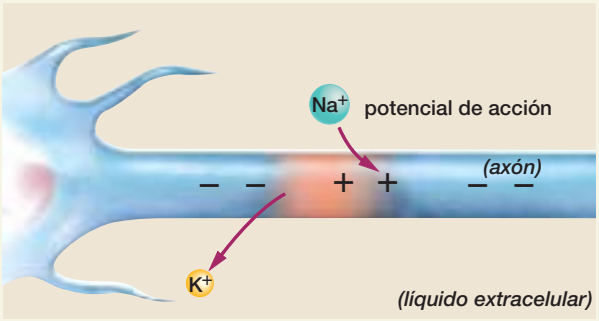


FIGURA E38-4 El K^+ que sale del axón restablece el potencial de reposo detrás del potencial de acción que avanza

Sólo una pequeña fracción del total de iones potasio y sodio en el interior y alrededor de cada neurona se intercambia durante cada potencial de acción, de manera que los gradientes de concentración de K^+ y Na^+ no cambian de manera apreciable.

Los potenciales de acción son fenómenos de "todo o nada"; es decir, si la neurona no alcanza el umbral, no habrá potencial de acción, pero si se llega al umbral, se desarrollará un potencial de acción de plena magnitud que recorrerá todo el axón.

LOS NEUROTRANSMISORES ABREN LOS CANALES DE IONES

Cuando un potencial de acción llega a la terminal presináptica, estimula la liberación de las moléculas neurotransmisoras, las cuales se difunden a través de la abertura sináptica y se unen a las proteínas receptoras en la célula postsináptica. En muchos casos, las proteínas receptoras se unen a los canales de iones, y la unión de neurotransmisores abre los canales (**FIGURA E38-5**).

Si los canales son permeables al Na^+ (figura E38-5, arriba), entonces los iones Na^+ entran a las células por difusión bajando por su gradiente de concentración y hacen a la célula menos negativa. Si la neurona postsináptica se vuelve menos negativa de manera suficiente, llegará al umbral y producirá un potencial de acción. Puesto que tales cambios en el voltaje de la célula postsináptica la "excitan", quizá hasta producir un potencial de acción, se denominan **potenciales postsinápticos de excitación (PPSE)**. Si los canales son permeables al K^+ (figura E38-5, abajo), entonces los iones K^+ salen de la célula por difusión, haciéndola más negativa. Esto tiende a inhibir la producción de potenciales de acción en la célula postsináptica, de manera que este cambio en el voltaje se denomina **potencial postsináptico de inhibición (PPSI)**.

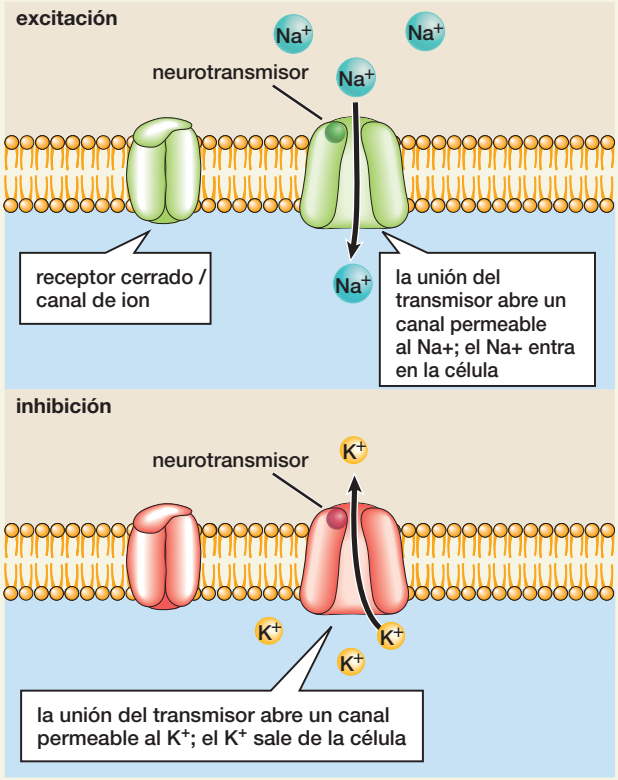


FIGURA E38-5 Los neurotransmisores que se unen a las proteínas receptoras abren canales para los iones

Tabla 38-1 Algunos neurotransmisores importantes

Neurotransmisor	Ubicación en el sistema nervioso	Algunas funciones
Acetilcolina	Sinapsis de neurona motriz a músculo; sistema nervioso autónomo, encéfalo	Activa músculos esqueléticos; activa órganos blanco del sistema nervioso parasimpático
Dopamina	Mesencéfalo	Importante en el control del movimiento
Noradrenalina (norepinefrina)	Sistema nervioso simpático	Activa órganos blanco del sistema nervioso simpático
Serotonina	Mesencéfalo, puente de Varolio y bulbo raquídeo	Influye en el estado de ánimo y en el sueño
Glutamato	Encéfalo y médula espinal	Importante neurotransmisor de excitación en el SNC
Glicina	Médula espinal	Importante neurotransmisor de inhibición de la médula espinal
GABA (ácido gamma-aminobutírico)	En todo el encéfalo	Importante neurotransmisor de inhibición del encéfalo
Endorfinas	Encéfalo y médula espinal	Influye en el estado de ánimo, reduce las sensaciones de dolor
Óxido nítrico	Encéfalo	Importante para formar recuerdos

Los patrones de interconexión entre los sentidos y el cerebro distinguen el tipo de estímulo

Si los potenciales de acción son paquetes de información de casi todas las neuronas, y si todos los potenciales de acción son básicamente los mismos, entonces, ¿cómo es que el cerebro de un caracol de estanque o el de una persona determina *qué* es un estímulo —luz, sonido, dolor— o *qué tan fuerte* es?

Todos los sistemas nerviosos interpretan *qué* es un estímulo al detectar *cuáles neuronas* están produciendo potenciales de acción. Por ejemplo, el cerebro interpreta los potenciales de acción que se presentan en los axones de los nervios ópticos (que se originan en los ojos y conducen a las áreas visuales del cerebro). Según se cuenta, un fisiólogo alemán se sentó una vez en un cuarto oscuro y se picó un ojo, dañando levemente su retina y produciendo potenciales de acción que llegaron a su cerebro. (Como dicen en algunos anuncios de televisión de automóviles que corren a gran velocidad, ¡*nunca* intentes esto!) ¿El resultado? Vio "estrellas" porque su cerebro interpretaba *cualquier* potencial de acción en su nervio óptico como luz. Por eso, es fácil distinguir el sonido de la música del sabor del café, o el sabor amargo del café del sabor dulce del azúcar, pues estos diferentes estímulos normalmente dan por resultado potenciales de acción en distintas áreas del cerebro. Algunas personas, llamadas sinestéticas, perciben un solo estímulo en múltiples modalidades; por ejemplo, la música puede evocarles fuertes sensaciones de color. En los sinestéticos, un solo estímulo sensorial aparentemente activa múltiples regiones sensoriales del cerebro, de manera que el sonido activa áreas auditivas y visuales.

La intensidad de un estímulo se codifica en la frecuencia de los potenciales de acción

Puesto que todos los potenciales de acción tienen aproximadamente la misma magnitud y duración, no es posible codificar información acerca de la **intensidad** de un estímulo (por ejemplo, qué tan fuerte es un sonido) en un solo potencial de acción. En vez de ello, la intensidad se codifica de otras dos maneras (**FIGURA 38-5**). Primero, la intensidad puede indicarse con la frecuencia de los potenciales de acción en una sola neurona. Cuanto más intenso es el estímulo, más rápidamente produce potenciales de acción (o *se dispara*) la neurona. Segundo, casi todos los sistemas nerviosos tienen muchas neuronas que pueden responder al mismo estímulo. Los estímulos más fuertes tienden a excitar un mayor número de esas neuronas, mientras que los estímulos más débiles excitan a un número menor. Así, la intensidad también puede indicarse con el número de neuronas similares que se disparan al mismo tiempo. El estridente sonido de la sirena de una patrulla activa muchas de nuestras neuronas auditivas y hace que disparen potenciales de acción con gran rapidez.

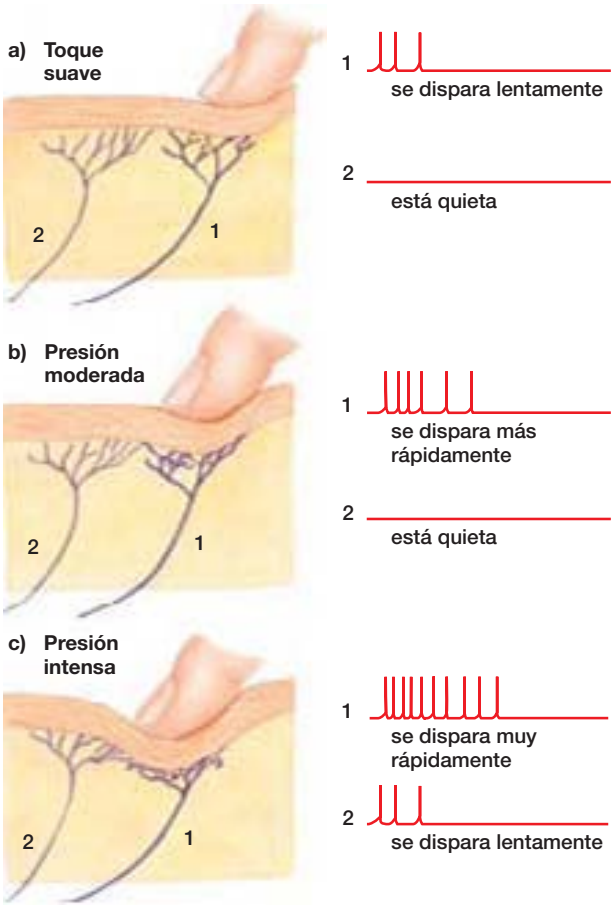


FIGURA 38-5 Indicación de la intensidad de un estímulo
La intensidad de un estímulo se comunica por la frecuencia con que neuronas individuales producen potenciales de acción y por el número de neuronas activadas. En este ejemplo, la presión creciente sobre la piel produce potenciales de acción cada vez más rápidos y luego provoca que un receptor adyacente se active. PREGUNTA: ¿Cómo crees que difieren las áreas de la piel que son especialmente sensibles al tacto de aquellas menos sensibles?

El sistema nervioso procesa información de muchas fuentes

Nuestro cerebro es bombardeado continuamente por estímulos sensoriales que se originan tanto dentro como fuera del cuerpo. El cerebro debe filtrar todas estas señales, determinar cuáles son importantes y decidir cómo responder. Los sistemas nerviosos, al igual que las neuronas individuales, integran información procedente de muchas fuentes: un gran número de neuronas canalizan sus señales a un número más reducido de neuronas. Por ejemplo, muchas neuronas sensoriales podrían converger en un número menor de células cerebrales. Algunas de estas células del cerebro "toman las decisiones" al sumar los potenciales postsinápticos que son resultado de la actividad sináptica de las neuronas sensoriales; dependiendo de sus intensidades relativas (y de otros factores internos como las hormonas o la actividad metabólica), producen señales de salida apropiadas.

El sistema nervioso produce señales apropiadas a los músculos y las glándulas

Los potenciales de acción de las neuronas encargadas de tomar decisiones pueden viajar a otras partes del cerebro, la médula espinal, al sistema nervioso simpático o al parasimpático (que se describirán más adelante). Finalmente, las señales del sistema nervioso estimularán la actividad en los músculos o las glándulas que producen comportamientos observables.

GUARDIÁN DE LA SALUD

Drogas, enfermedades y neurotransmisores

Es muy probable que conozcas a alguien que tiene una adicción. ¿Cómo es posible que sustancias como la nicotina, al alcohol o la cocaína influyan tan profundamente en la vida de las personas? Una buena parte de la respuesta radica en los efectos que estos fármacos tienen sobre los neurotransmisores y en la forma en que el sistema nervioso se adapta a tales efectos insidiosos.

Las drogas adictivas activan el "circuito de recompensa" del cerebro, generando sensaciones de intenso placer. La cocaína es un buen ejemplo. Las sinapsis del cerebro que usan los neurotransmisores dopamina, serotonina o noradrenalina contribuyen a nuestro nivel de energía y a nuestra sensación general de bienestar. Normalmente, la neurona presináptica, después de liberar uno de estos neurotransmisores, comienza a reabsorberlos inmediatamente por bombeo, lo que limita sus efectos. Los investigadores han descubierto que la cocaína bloquea este mecanismo de bombeo. ¿El resultado? Cuando una persona consume cocaína, estos neurotransmisores permanecen en sus sinapsis mucho más tiempo y alcanzan niveles más altos de concentración, lo que intensifica sus efectos. El usuario se siente eufórico y lleno de energía. Sin embargo, en algún momento el cerebro intenta restablecer su estado normal. Durante el uso repetido de la cocaína, las neuronas postsinápticas reducen el número de receptores para esos neurotransmisores. Al estar presentes menos receptores, los elevados niveles de neurotransmisor causados por la cocaína se vuelven *indispensables* para que el usuario se sienta normal. Cuando se retira la cocaína, las neuronas postsinápticas reciben un estímulo insuficiente y el usuario experimenta una "caída" emocional que sólo puede aliviarse con más cocaína. Cada vez se requiere mayor cantidad de la droga apenas para sentirse bien y, desde luego, para sentirse eufórico; entonces, el usuario se ha convertido en adicto (**FIGURA E38-6**).

El alcohol estimula receptores del neurotransmisor GABA (ácido gamma-aminobutírico), lo que intensifica las señales neuronales de inhibición y bloquea receptores de glutamato, lo cual, a la vez, reduce las señales de excitación. Cuando una persona bebe a menudo, el cerebro la compensa reduciendo el número de receptores de GABA y aumentando los receptores de glutamato. Sin el alcohol, un alcohólico se siente inquieto y nervioso: en pocas palabras, sobreestimulado. En casos extremos, la abstinencia del alcohol puede causar convulsiones. La nicotina y otros componentes del humo del cigarrillo también interfieren en la transmisión sináptica normal y producen una serie de efectos adictivos. Para superar una adicción, los usuarios de drogas deben experimentar el sufrimiento causado por un sistema nervioso privado de un fármaco al que se ha adaptado. Aunque finalmente los receptores regresan a sus niveles normales, es común que el ansia por la droga recurra periódicamente, por causas que todavía se desconocen.

Es posible también que conozcas a una persona con mal de Parkinson o mal de Alzheimer. Ambos son resultado de la muerte de neuronas específicas del cerebro y de la pérdida de sus neurotransmisores, que normalmente las comunican con otras neuronas. En el mal de Parkinson, mueren neuronas del mesencéfalo que liberan dopamina y esto interfiere en el complejo sistema de control que da suavidad a los movimientos. Quienes padecen este mal experimentan temblores y tienen dificultad para iniciar movimientos. En el mal de Alzheimer, neuronas de los lóbulos temporales que producen el neurotransmisor acetilcolina mueren en grandes cantidades. La pérdida de memoria es un síntoma prominente del mal de Alzheimer.

El neurotransmisor serotonina actúa en el encéfalo y la médula espinal. Una insuficiencia de serotonina provoca depresión. El antidepresivo Prozac® bloquea selectivamente la reabsorción de serotonina en las neuronas presinápticas, lo que intensifica los efectos del neurotransmisor. Quizás hayas escuchado hablar del *Éxtasis* (MDMA), un pariente de las anfetaminas. Esta droga provoca un aumento masivo temporal de la serotonina en las sinapsis. Los usuarios reportan sentimientos de placer, aumento en la energía, elevada conciencia sensorial y mejores relaciones con otras personas. Creciente evidencia proveniente de investigaciones no sólo con animales sino también con seres humanos sugiere que los usuarios del Éxtasis podrían sufrir en el largo plazo daño en las neuronas productoras de serotonina, así como deficiencias en la capacidad de aprendizaje y la memoria. Nuevos estudios con primates sugieren que el MDMA también daña las neuronas productoras de dopamina; si esto también es cierto para los humanos, los usuarios de MDMA podrían ser particularmente vulnerables al mal de Parkinson más adelante en la vida.

Los efectos analgésicos (que alivian el dolor) de los opiáceos vegetales, como la morfina, el opio, la codeína y la heroína, se conocen desde hace siglos. Puesto que el cerebro tiene receptores para estas moléculas, los investigadores pensaron que quizá esos opiáceos vegetales se parecerían a sustancias (entonces) desconocidas, producidas por el cerebro, que atenúan la percepción del dolor. La búsqueda de tales sustancias rindió frutos en 1975 con el descubrimiento de los *opioides* (sustancias parecidas al opio); las *endorfinas* son un grupo de opioides. Ciertos opioides suprimen el dolor en momentos de extrema tensión, como en un campo de batalla o en uno de fútbol americano. Los opioides que se liberan durante el ejercicio vigoroso podrían explicar la conocida "euforia de corredor".

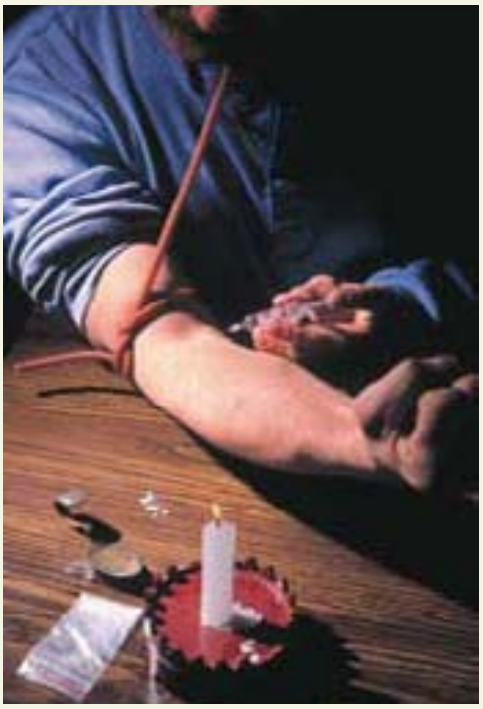


FIGURA E38-6 Adicción
Un adicto experimenta sufrimiento físico y emocional extremos cuando se ve privado de la droga porque su sistema nervioso se ha adaptado a ella.

Los caminos neuronales dirigen el comportamiento

Casi todas las conductas están bajo el control de caminos de neuronas a músculos que constan de cuatro elementos:

Neuronas sensoriales que responden a un estímulo, ya sea interno o externo al cuerpo.

Interneuronas que reciben señales de muchas fuentes, como neuronas sensoriales, hormonas, neuronas que almacenan recuerdos y muchas otras. Con base en estas señales, las interneuronas activan neuronas motrices.

Neuronas motrices que reciben instrucciones de neuronas sensoriales o interneuronas y activan músculos o glándulas.

Efectores, normalmente músculos o glándulas que ejecutan la respuesta dirigida por el sistema nervioso.

La conducta más simple es el reflejo

El tipo más sencillo de comportamiento en los animales es el **reflejo**, un movimiento en gran medida involuntario de una parte del cuerpo como respuesta a un estímulo. Los reflejos se presentan sin intervención de porciones conscientes del cerebro; muchos se dan totalmente dentro de la médula espinal y las neuronas periféricas. Como ejemplos de reflejos humanos están los conocidos reflejos rotuliano y de evitación del dolor, ambos producidos por neuronas de la médula espinal. El reflejo de evitación del dolor, que aleja una parte del cuerpo de un estímulo doloroso como una tachuela, utiliza una de cada uno de los tres tipos de neuronas y un efector (véase la figura 38-10). Aunque los reflejos de esta índole no pasan por el cerebro, otros caminos informan a este último del dedo pinchado y podrían dar origen a otras conductas más complejas (¡como maldecir, por ejemplo!).

Casi todos los animales pueden realizar comportamientos mucho más sutiles y variados que los que se explican con simples reflejos. En principio, estos comportamientos más complejos pueden organizarse mediante caminos neuronales interconectados, en los que varios tipos de señales sensoriales (junto con recuerdos, hormonas y otros factores) convergen en un conjunto de interneuronas. Mediante la integración de los potenciales postsinápticos de varias fuentes, las interneuronas pueden "decidir" qué hacer y entonces estimulan a las neuronas motrices para que ordenen la actividad apropiada en los músculos y glándulas.

Los sistemas nerviosos complejos están centralizados

En todo el reino animal, sólo hay en realidad dos diseños de sistema nervioso: un sistema nervioso difuso, como el de los cnidarios o celentéreos (hidras, medusas y sus parientes; **FIGURA 38-6a**), y un sistema nervioso centralizado, que se encuentra en mayor o menor grado en los organismos más complejos. No es de sorprender que el diseño del sistema nervioso muestre una correlación estrecha con el estilo de vida del animal. Los cnidarios, que tienen simetría radial, no tienen un "extremo delantero", así que no ha habido presión evolutiva para concentrar los sentidos en un solo lugar. Una hidra vive anclada al lecho marino, y las presas o los depredadores podrían venir de cualquier dirección. El sistema nervioso de los cnidarios se compone de una red de neuronas, llamada **red nerviosa**, formada por todos los tejidos del animal. Por todos lados hay cúmulos de neuronas, llamados **ganglios**, pero nada que semeje un verdadero cerebro.

Casi todos los demás animales tienen simetría bilateral, con extremos de cabeza y cola bien definidos. Puesto que la cabeza suele ser la primera parte del cuerpo que se topa con el alimento, los peligros y las parejas potenciales, resulta ventajoso concentrar ahí los órganos de los sentidos. Se desarrollaron ganglios de gran tamaño que integran la información captada por los sentidos e inician acciones apropiadas. A lo largo de la evolución, los órganos de los sentidos se reunieron en la cabeza y los ganglios se centralizaron para formar un cerebro. Esta tendencia, llamada cefalización, se observa claramente en los invertebrados (**FIGURA 38-6b, c**). La cefalización alcanza su cúspide en los vertebrados, en los que casi todos los cuerpos celulares del sistema nervioso se encuentran en el encéfalo y la médula espinal.

38.4 ¿CÓMO SE ORGANIZA EL SISTEMA NERVIOSO HUMANO?

El sistema nervioso de los vertebrados, incluido el de los humanos, se divide en dos partes: central y periférico. Cada uno de éstos tiene subdivisiones (**FIGURA 38-7**). El **sistema nervioso central (SNC)** consiste en el **encéfalo** y la **médula espinal**, que se extiende por la parte dorsal del tronco. El **sistema nervioso periférico (SNP)** consta de neuronas que residen fuera del SNC (a menudo en ganglios a lo largo de la médula espinal,

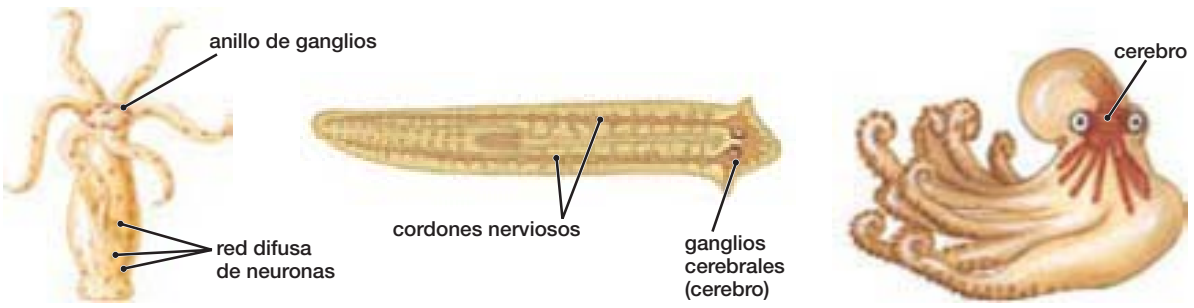


FIGURA 38-6 Organización del sistema nervioso
a) El sistema nervioso difuso de la hidra contiene unas cuantas concentraciones de neuronas, sobre todo en la base de los tentáculos, pero carece de cerebro. Las señales neuronales son conducidas prácticamente en todas direcciones dentro del cuerpo. ***b)*** El gusano plano tiene un sistema nervioso que es menos difuso, con un conjunto de ganglios en la cabeza.

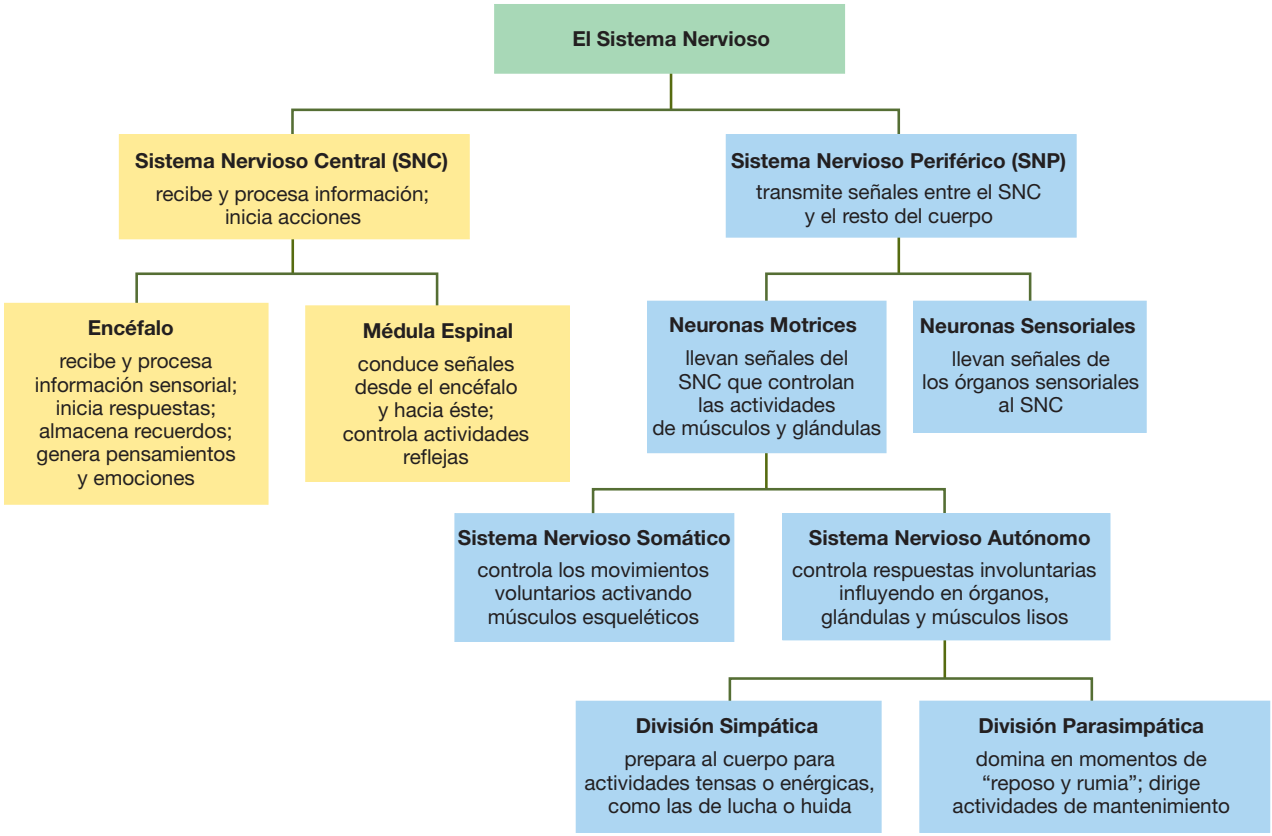

El Sistema Nervioso
Sistema Nervioso Central (SNC)
recibe y procesa información; inicia acciones
Sistema Nervioso Periférico (SNP)
transmite señales entre el SNC y el resto del cuerpo
Encéfalo
recibe y procesa información sensorial; inicia respuestas; almacena recuerdos; genera pensamientos y emociones
Médula Espinal
conduce señales desde el encéfalo y hacia éste; controla actividades reflejas
Neuronas Motrices
llevan señales del SNC que controlan las actividades de músculos y glándulas
Neuronas Sensoriales
llevan señales de los órganos sensoriales al SNC
Sistema Nervioso Somático
controla los movimientos voluntarios activando músculos esqueléticos
Sistema Nervioso Autónomo
controla respuestas involuntarias influyendo en órganos, glándulas y músculos lisos
División Simpática
prepara al cuerpo para actividades tensas o enérgicas, como las de lucha o huida
División Parasimpática
domina en momentos de "reposo y rumia"; dirige actividades de mantenimiento

FIGURA 38-7 Organización y funciones del sistema nervioso de los vertebrados

como los ganglios de la cabeza y el cuello que controlan las glándulas salivales) y de axones que conectan estas neuronas con el sistema nervioso central.

El sistema nervioso periférico vincula al sistema nervioso central con el cuerpo

Los nervios periféricos permiten que el encéfalo y la médula espinal se comuniquen con el resto del cuerpo, lo que incluye músculos, órganos de los sentidos, los órganos de los aparatos digestivo, respiratorio y excretor, así como el sistema circulatorio. Dentro de los nervios periféricos hay axones de neuronas sensoriales que llevan información sensorial *al* sistema nervioso central de todas partes del cuerpo. (Tal vez pienses que estas fibras neuronales deberían llamarse dendritas porque llevan información hacia el cuerpo celular. Sin embargo, como son largas y conducen potenciales de acción, los neurobiólogos las llaman axones). Los nervios periféricos también contienen los axones de neuronas motrices que llevan señales *del* sistema nervioso central a los órganos y músculos.

La porción motriz del sistema nervioso periférico se divide en dos partes: el **sistema nervioso somático** y el **sistema nervioso autónomo**. Las neuronas motrices del sistema nervioso somático forman sinapsis con los músculos esqueléticos y controlan los movimientos voluntarios. Cuando tomamos notas, levantamos una taza de café y ajustamos el sistema de sonido estereofónico, nuestro sistema nervioso somático está al mando. Los cuerpos celulares de las neuronas motrices somáticas se localizan en la médula espinal y sus axones conducen directamente a los músculos que controlan. (Los músculos y su control se estudiarán en el capítulo 39).

Las neuronas motrices del sistema nervioso autónomo controlan las respuestas involuntarias. Forman sinapsis en el corazón, los músculos lisos y las glándulas. El sistema nervioso autónomo es controlado primordialmente por el hipotálamo del encéfalo, que describiremos más adelante en este capítulo, y consta de dos divisiones: la **división simpática** y la **división parasimpática** (FIGURA 38-8). Las dos divisiones del sistema nervioso autónomo generalmente forman sinapsis con los mismos órganos, pero normalmente producen efectos opuestos.

La división simpática libera el neurotransmisor noradrenalina (norepinefrina) en sus órganos blanco, con el fin de preparar el cuerpo para actividades tensas o que requieren mucha energía, como pelear, escapar o presentar un examen. Durante las actividades de "lucha o huida", el sistema nervioso simpático restringe la actividad del tracto digestivo y redirige parte de su suministro de sangre a los brazos y las piernas. El ritmo cardiaco se acelera, las pupilas de los ojos se dilatan para dejar entrar más luz y las vías de los pulmones se expanden para dar cabida a más aire. Todo esto podría suceder si el profesor repentinamente nos hace una pregunta en clase... ¡sobre todo si no sabemos la respuesta!

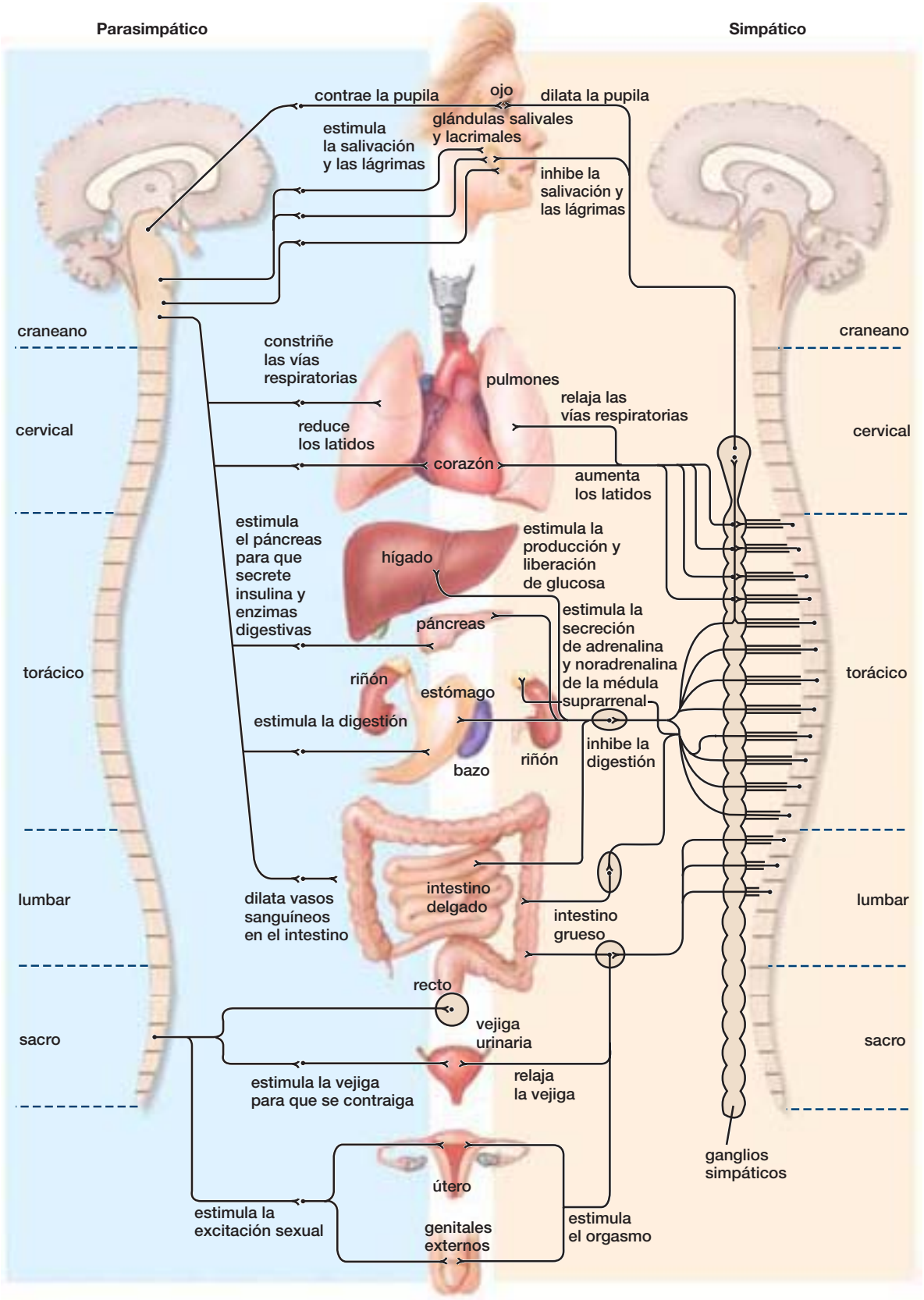


FIGURA 38-8 El sistema nervioso autónomo
El sistema nervioso autónomo tiene dos divisiones, simpática y parasimpática, que abastecen de nervios a muchos órganos en común, pero producen efectos opuestos en ellos. La activación del sistema nervioso autónomo es involuntaria y la ordenan señales del hipotálamo.

La división parasimpática, que libera acetilcolina en sus órganos blanco, domina durante actividades de mantenimiento que se pueden realizar en calma, también llamadas de "reposo y rumia". Bajo su control, el aparato digestivo se activa, el ritmo cardiaco se hace más lento y las vías pulmonares se constriñen.

El sistema nervioso central consiste en la médula espinal y el encéfalo

La médula espinal y el encéfalo constituyen el sistema nervioso central: la porción del sistema nervioso donde se recibe y procesa información sensorial, se generan los pensamientos y se ordenan las respuestas. El SNC consiste primordialmente en interneuronas, ¡probablemente unos 100 mil millones!

El encéfalo y la médula espinal están protegidos físicamente de tres maneras. La primera línea de defensa es la armadura ósea que consiste en el *cráneo,* que rodea al encéfalo, y la *columna vertebral o espina dorsal,* que protege a la médula espinal. Debajo de los huesos hay una capa triple de tejido conectivo que se conocen con el nombre de *meninges*. Entre las capas de las meninges, el *líquido cefalorraquídeo*, transparente y parecido al plasma sanguíneo, acojina el encéfalo y la médula espinal al tiempo que nutre a las células del SNC. Las delicadas células del cerebro también se protegen de las sustancias potencialmente nocivas que llegan al torrente sanguíneo porque los capilares del cerebro son mucho menos permeables que los del resto del cuerpo. Esta tercera línea de defensa es la *barrera hematoencefálica***.**

La médula espinal es un cable de axones protegido por la espina dorsal

La médula espinal tiene el grosor aproximado de un meñique y se extiende desde la base del cerebro hasta la base de la espalda; está protegida por los huesos de la columna vertebral. Entre las vértebras, los nervios que llevan axones de neuronas sensoriales y motrices salen de las porciones dorsal y ventral de la médula espinal, respectivamente, y se fusionan para formar los nervios periféricos de la médula espinal que inervan para cubrir casi todo el cuerpo (FIGURA 38-9). En el centro de la médula espinal hay una área de **materia gris** con forma de mariposa. La materia gris consiste en los cuerpos celulares de neuronas que controlan a músculos voluntarios y al sistema nervioso autónomo, además de interneuronas que se comunican con el cerebro y otras partes de la médula espinal. La materia gris está rodeada de **materia blanca**, formada por axones de neuronas recubiertos de mielina, que se extienden hacia arriba o hacia abajo por la médula espinal (el recubrimiento grasoso de mielina da el color blanco a los axones). Estos axones transportan señales sensoriales de los órganos internos, los músculos y la piel hasta el cerebro. También se extienden axones hacia abajo desde el cerebro y llevan señales que dirigen a las porciones motrices del sistema nervioso periférico.

Si la médula espinal se cercena, las señales sensoriales que proceden de la zona que queda debajo del corte no pueden llegar al encéfalo y las señales motrices de este último tampoco llegan a las neuronas motrices localizadas debajo del corte. Por consiguiente, las partes del cuerpo que están inervadas

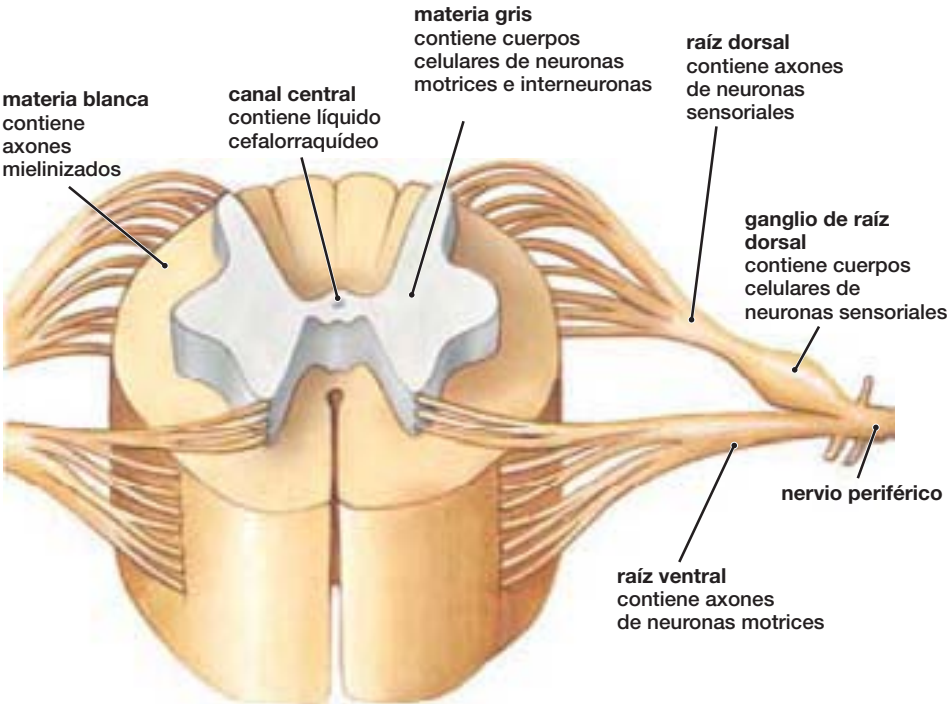


FIGURA 38-9 La médula espinal
En un corte transversal se observa que la médula espinal tiene una región exterior de axones mielinizados (materia blanca) que conducen al encéfalo, así como una región interior, con forma de mariposa, que contiene dendritas y cuerpos celulares de interneuronas y neuronas motrices (materia gris). Los cuerpos celulares de las neuronas sensoriales están afuera de la médula en el ganglio de la raíz dorsal.

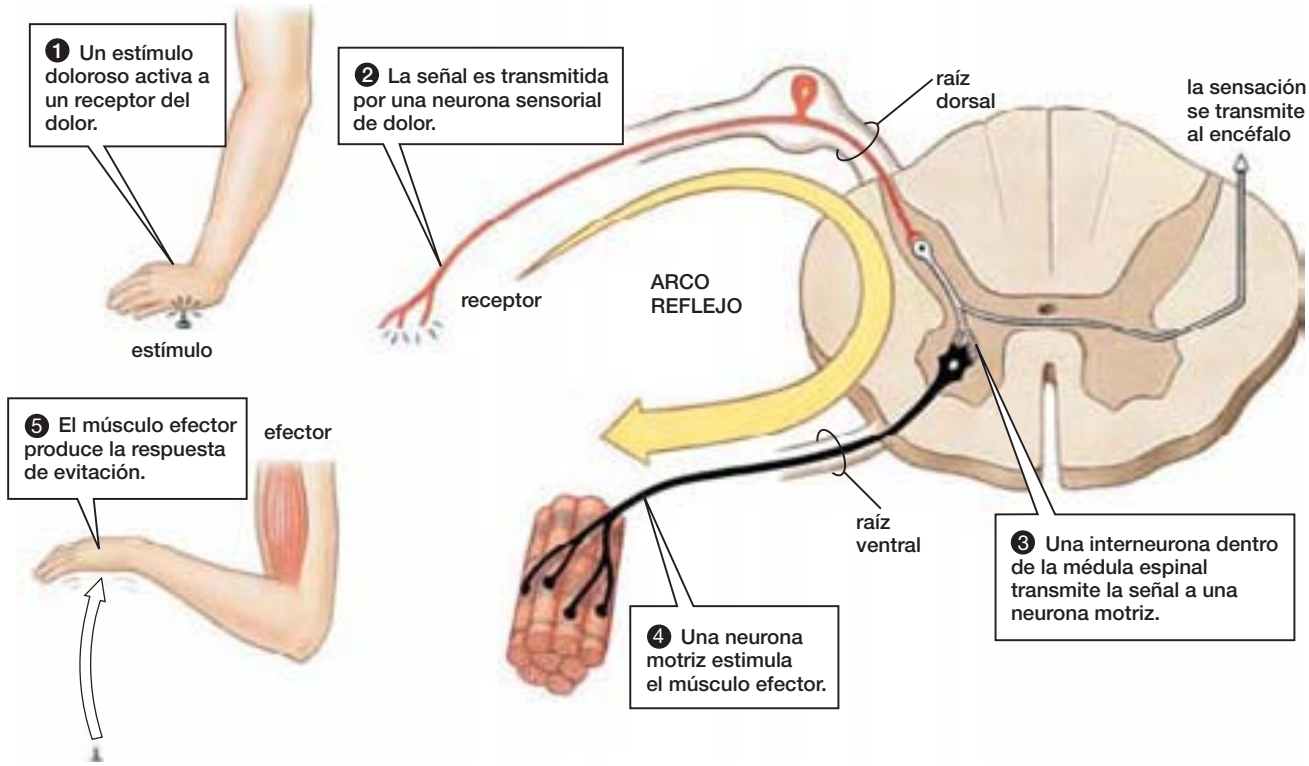

1 Un estímulo doloroso activa a un receptor del dolor.
estímulo
2 La señal es transmitida por una neurona sensorial de dolor.
receptor
raíz dorsal
la sensación se transmite al encéfalo
ARCO REFLEJO
5 El músculo efector produce la respuesta de evitación.
efector
raíz ventral
3 Una interneurona dentro de la médula espinal transmite la señal a una neurona motriz.
4 Una neurona motriz estimula el músculo efector.

FIGURA 38-10 El reflejo de evitación del dolor
PREGUNTA: ¿Por qué una persona paralizada a causa de una lesión en la médula espinal, cuando recibe un pinchazo con un alfiler en alguna de las partes paralizadas de su cuerpo, por lo común presenta un reflejo normal de evitación del dolor, pero no siente dolor?

por neuronas motrices y sensoriales localizadas debajo de la lesión se paralizan y quedan insensibles aun cuando las neuronas motrices y sensoriales, los nervios periféricos y los músculos permanezcan intactos.

Además de transmitir señales neuronales entre el encéfalo y el resto del cuerpo, la médula espinal contiene los caminos neuronales de ciertos comportamientos simples, como los reflejos. Examinemos el simple reflejo de evitación del dolor, en el que intervienen neuronas tanto del sistema nervioso central como del periférico (**FIGURA 38-10**). Los cuerpos celulares de las neuronas sensoriales de la piel (que en este caso producen una señal de dolor) están en los **ganglios de la raíz dorsal**

tividades relativamente complejas. Todas las neuronas e interconexiones necesarias para los movimientos básicos de caminar y correr, por ejemplo, residen en la médula espinal. La ventaja de esta organización parcialmente independiente entre el encéfalo y la médula espinal es un aumento en la rapidez y la coordinación, porque los mensajes no tienen que viajar hasta el encéfalo y de regreso nada más para desplazar una pierna hacia delante cuando caminamos. El papel del encéfalo en estas conductas "semiautomáticas" es iniciar, guiar y modificar la actividad de las neuronas motrices espinales con base en decisiones conscientes (¿a dónde vamos?, ¿con qué rapidez debemos caminar?). Para mantener el equilibrio, el encéfalo también emplea información sensorial de los músculos y ordena a las neuronas motrices que ajusten la forma en que éstos se mueven.

El encéfalo consta de varias partes especializadas para desempeñar funciones específicas

Todos los encéfalos de los vertebrados tienen la misma estructura general, con modificaciones importantes según el estilo de vida y la inteligencia. El cerebro de los vertebrados está dividido en tres partes: el **rombencéfalo**, el **mesencéfalo** y el **prosencéfalo** (**FIGURA 38-11a**). Los científicos creen que en los primeros vertebrados estas tres divisiones anatómicas también eran divisiones funcionales: el rombencéfalo gobernaba los comportamientos automáticos como la respiración y el ritmo cardiaco, el mesencéfalo controlaba la visión y el prosencéfalo se ocupaba primordialmente del sentido del olfato. En los vertebrados no mamíferos, estas tres divisiones siguen siendo prominentes (**FIGURA 38-11b, c**

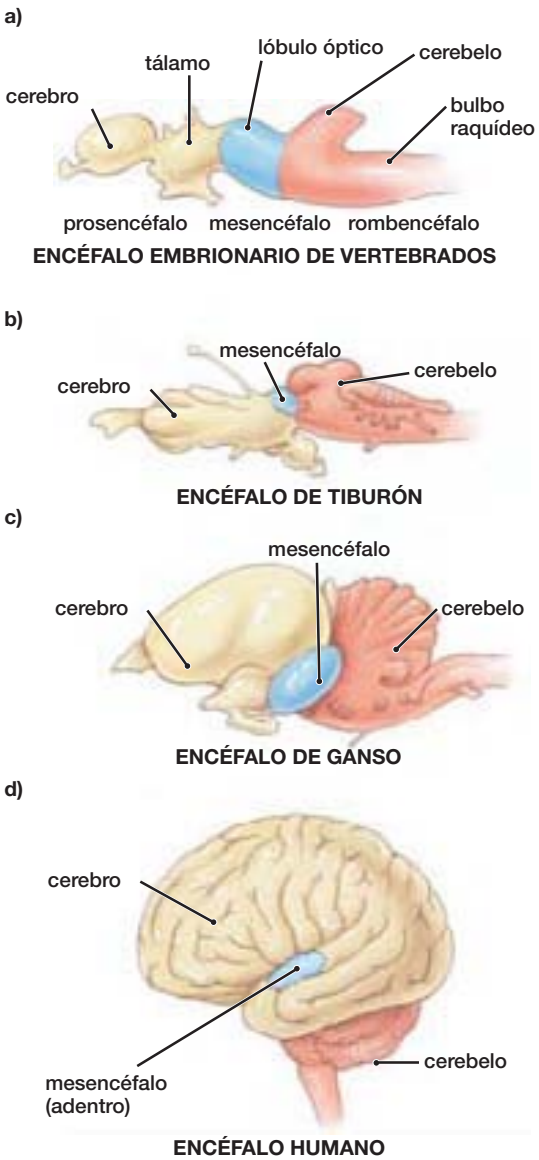


FIGURA 38-11 Comparación de encéfalos de vertebrados
a) El cerebro embrionario de los vertebrados, que se piensa es similar al cerebro de los ancestros distantes de los vertebrados actuales, muestra tres regiones bien definidas: el prosencéfalo, el mesencéfalo y el rombencéfalo. ***b)*** El cerebro de un tiburón adulto mantiene esta organización básica. ***c)*** En el ganso el mesencéfalo es de menor tamaño, pero el cerebro y el cerebelo son más grandes. ***d)*** En los mamíferos, especialmente en los humanos, el cerebro es muy grande en comparación con otras regiones del encéfalo.

del encéfalo presentan modificaciones importantes. Algunas se han reducido, mientras que otras, sobre todo el prosencéfalo, han crecido mucho (FIGURA 38-11d). Un corte por la línea media del encéfalo humano revela muchas de sus características estructurales, como se aprecia en la FIGURA 38-12.

El rombencéfalo incluye el bulbo raquídeo, el puente de Varolio y el cerebelo

En el ser humano, el rombencéfalo comprende el *bulbo raquídeo*, el *puente de Varolio* y el *cerebelo* (véase la figura 38-12). Tanto en estructura como en función, el de la médula espinal. Al igual que esta última, el bulbo raquídeo tiene cuerpos celulares neuronales en el centro, rodeados por una capa de axones cubiertos por mielina. El bulbo raquídeo controla varias funciones automáticas, como la respiración, el ritmo cardiaco, la presión arterial y la deglución. Ciertas neuronas del **puente de Varolio**, situado arriba del bulbo raquídeo, al parecer influyen en las transiciones entre el sueño y la vigilia y entre las etapas del sueño. Otras neuronas influyen en el ritmo y el patrón de la respiración.

El **cerebelo** es crucial para coordinar los movimientos del cuerpo: recibe información de los centros de mando de las áreas conscientes del encéfalo que controlan el movimiento, así como de los sensores de posición en los músculos y las articulaciones. Al comparar la información de estas dos fuentes, el cerebelo guía movimientos continuos y precisos, así como la postura del cuerpo. Este órgano también interviene en lo que a menudo se conoce como "aprendizaje motor". Conforme aprendemos a escribir, lanzar una pelota o tocar la guitarra, el prosencéfalo dirige nuestros movimientos, que en un principio son algo torpes. Una vez que nos volvemos diestros, el prosencéfalo aún "decide" qué hacer (por ejemplo, hacia dónde lanzamos la pelota), pero nuestro cerebelo se vuelve más responsable al asegurarse de que las acciones se realizan de la forma apropiada. No resulta extraño que el cerebelo alcance un tamaño mayor en animales cuyas actividades requieren la coordinación de movimientos finos o de maniobras aéreas, como en el caso de los murciélagos y aves (véase la figura 38-11).

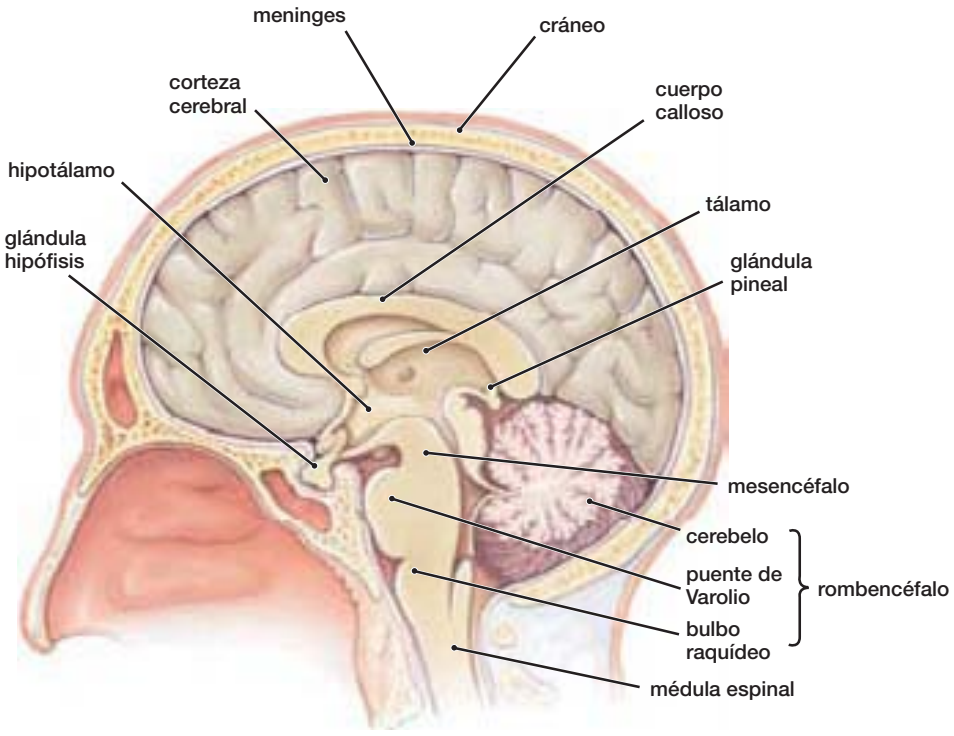
El mesencéfalo contiene la formación reticular

El mesencéfalo está muy reducido en el ser humano (véase las figuras 38-11 y 38-12); contiene un centro de retransmisión de señales auditivas y un centro que controla los movimientos reflejos de los ojos, así como una porción de la **formación reticular**. Esta última consiste en docenas de cúmulos de neuronas interconectadas que se extienden desde el centro del bulbo raquídeo, pasan por el mesencéfalo y llegan a las regiones más bajas del prosencéfalo. Estas neuronas reciben información de prácticamente todos los sentidos, de todas partes del cuerpo y también de muchas áreas del cerebro. La formación reticular interviene en el sueño y la vigilia, las emociones, el tono muscular, así como en ciertos movimientos y reflejos. Filtra las señales sensoriales antes de que lleguen a las regiones conscientes del encéfalo, aunque la selectividad del filtrado parece depender de centros superiores del encéfalo, como los que controlan el pensamiento consciente. Las actividades de la formación reticular nos permiten leer y concentrarnos en presencia de diversos estímulos que podrían distraernos, como la música o el olor del café. El hecho de que una madre se despierte al escuchar el leve llanto de su bebé, pero duerma tranquilamente pese al intenso ruido de tráfico que entra por la ventana, es muestra de la eficacia de la formación reticular para filtrar las señales que llegan al encéfalo.

El prosencéfalo incluye el tálamo, el sistema límbico y la corteza cerebral

El prosencéfalo, también llamado **cerebro**, incluye el *tálamo* y el *sistema límbico*, así como la *corteza cerebral.*

FIGURA 38-12 El encéfalo humano
Un corte por la línea media del encéfalo humano revela algunas de sus principales estructuras.



El **tálamo** es una especie de estación de retransmisión compleja que canaliza información sensorial de todas las partes del cuerpo al sistema límbico y a la corteza cerebral (véase la figura 38-12). Las señales que van del cerebelo y el sistema límbico a la corteza cerebral también se canalizan por esta transitada ruta. El **sistema límbico** es un grupo diverso de estructuras, que incluyen el *hipotálamo*, la *amígdala* y el *hipocampo*, así como regiones cercanas de la corteza cerebral, situadas en un arco entre el tálamo y la corteza cerebral (**FIGURA 38-13**). Estas estructuras colaboran para producir nuestras emociones, impulsos y conductas más básicos y primitivos, como temor, ira, tranquilidad, hambre, sed, placer y las respuestas sexuales. Algunas porciones del sistema límbico también son importantes en la formación de recuerdos.

El **hipotálamo** (literalmente, "bajo el tálamo") contiene muchos cúmulos de neuronas. Algunas de estas neuronas son células neurosecretoras que liberan hormonas a la sangre; otras controlan la liberación de diversas hormonas de la hipófisis o pituitaria (véase el capítulo 37). Otras regiones del hipotálamo dirigen las actividades del sistema nervioso autónomo. El hipotálamo, mediante su producción de hormonas y sus conexiones neuronales, actúa como importante centro de coordinación y mantiene la homeostasis de diferentes formas: controla la temperatura corporal, el hambre, el equilibrio del agua, el ciclo menstrual y el ciclo de sueño-vigilia.

Cúmulos de neuronas en la **amígdala**

La forma del **hipocampo**, que rodea al tálamo, inspiró su nombre, pues semeja un caballito de mar. Al igual que en la amígdala y el hipotálamo, es posible generar conductas que reflejan diversas emociones, entre ellas ira y excitación sexual, si se estimulan ciertas porciones del hipocampo. Esta región también desempeña un papel importante en la formación de la memoria a largo plazo y, por ende, es necesaria para

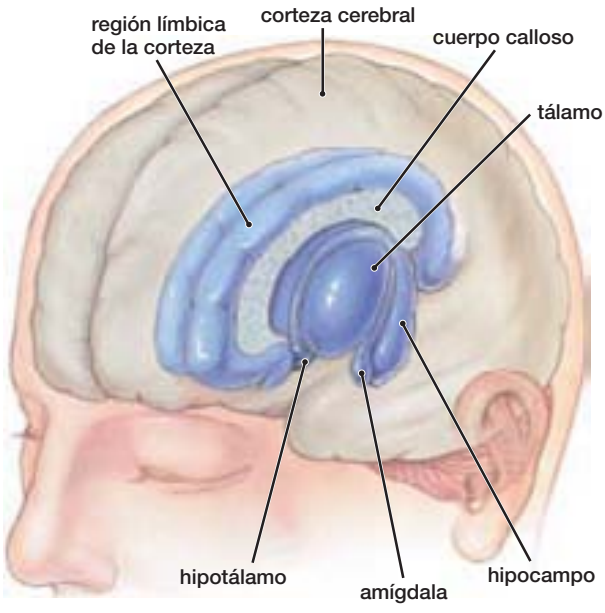


FIGURA 38-13 El sistema límbico y el tálamo
El sistema límbico abarca varias regiones del encéfalo. El tálamo es un centro de retransmisión crucial entre los sentidos, el sistema límbico y la corteza cerebral.

el aprendizaje, como veremos más a fondo en una sección posterior del capítulo.

En el ser humano la parte más grande del encéfalo es, por mucho, la **corteza cerebral**, es decir, la capa exterior del prosencéfalo. La corteza cerebral y las partes subyacentes del prosencéfalo se dividen en dos mitades, llamadas **hemisferios cerebrales**. Estas mitades se comunican entre sí mediante una gruesa banda de axones, el **cuerpo calloso**. La corteza cerebral es el centro procesador de información más complejo que se conoce, pero también es el área del encéfalo acerca de la cual los científicos saben menos. Miles de millones de neuronas forman esta delgada capa superficial. La corteza está plegada para formar **circunvoluciones**, las cuales aumentan considerablemente su área. En la corteza predominan los cuerpos celulares de neuronas, que confieren a esta capa exterior, en especímenes preservados, un color gris; de ahí el término "materia gris". Estas neuronas reciben información sensorial, la procesan, almacenan parte de ella en la memoria para su uso posterior, dirigen movimientos voluntarios y nos permiten planear y pensar mediante mecanismos que aún no comprendemos del todo.

La corteza cerebral se divide en cuatro regiones anatómicas: los *lóbulos frontales, parietales, occipitales* y *temporales* (**FIGURA 38-14**). Funcionalmente, la corteza contiene *áreas sensoriales primarias*, regiones en las que se reciben las señales provenientes de órganos de los sentidos, como los ojos y los oídos, y se convierten en impresiones subjetivas; por ejemplo, luz y sonido. Las *áreas de asociación* cercanas interpretan los sonidos como habla o música, por ejemplo, y los estímulos visuales como objetos reconocibles o las palabras de esta página. Las áreas de asociación también vinculan los estímulos con recuerdos almacenados en la corteza y generan órdenes para producir el habla. Ciertas investigaciones han revelado que las áreas de asociación del cerebro no siempre tienen la misma función en el hemisferio derecho y en el izquierdo (véase el apartado 38.5).

Las áreas sensoriales primarias del lóbulo parietal interpretan las sensaciones de tacto provenientes de todas las partes del cuerpo, que se hacen corresponder con un "mapa" en cierto orden (véase la figura 38-14). En una región adyacente del lóbulo frontal, las *áreas motrices primarias* generan movimientos en las áreas correspondientes del cuerpo mediante la estimulación de las neuronas motrices en la médula espinal que inervan en los músculos. Esto nos permite caminar a clase, lanzar un Frisbee® o escribir en la computadora un trabajo final. Al igual que el área sensorial primaria, el área motriz primaria también tiene áreas de asociación adyacentes, incluida una de asociación motriz (también llamada área premotriz), la cual parece ser responsable de dirigir el área motriz para producir movimientos. Detrás de los huesos de la frente se encuentra otra área de asociación del lóbulo frontal, que es importante en las funciones de razonamiento complejo como toma de decisiones, predicción de las consecuencias de una acción, control de la agresión y planeación para el futuro.

Si la corteza sufre lesiones provocadas por un traumatismo, un accidente cerebrovascular o un tumor, se presentan deficiencias específicas, como problemas con el habla, dificultad para leer o incapacidad para sentir o mover partes específicas del cuerpo. Casi ninguna célula del encéfalo adulto se puede reponer, de manera que, si se destruye una región del encéfalo, las deficiencias podrían ser permanentes. Sin embargo, por fortuna, la terapia física a veces logra que regiones ilesas de la corteza asuman el control de las funciones perdidas y las restauren.

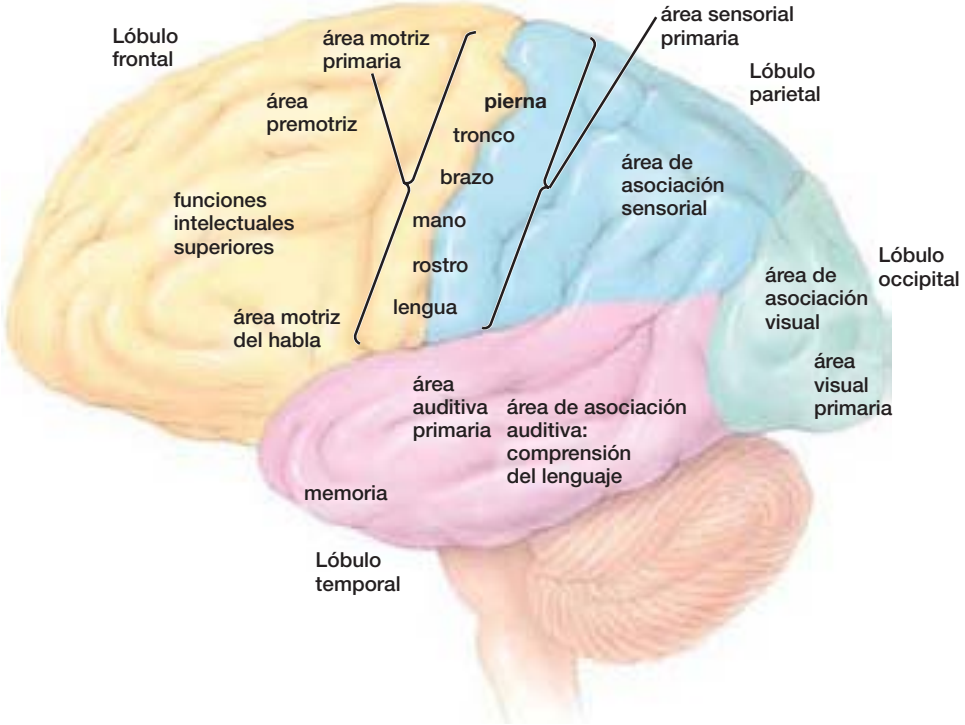


FIGURA 38-14 La corteza cerebral
Un mapa de la corteza cerebral humana en el hemisferio izquierdo. Un mapa de la corteza cerebral del hemisferio derecho sería similar, excepto que el habla y el lenguaje están menos desarrollados ahí.

38.5 ¿CÓMO PRODUCE EL ENCÉFALO LA MENTE?

Históricamente, siempre hemos tenido problemas para imaginar cómo unos cuantos kilogramos de material blando permiten generar toda la gama de pensamientos, emociones y recuerdos de la mente humana. Este problema "mente-encéfalo" ha ocupado a varias generaciones de filósofos y, en fechas más recientes, de neurobiólogos. A partir de observaciones de personas con lesiones en la cabeza y siguiendo con avanzados experimentos quirúrgicos, fisiológicos y bioquímicos, estamos comenzando a comprender a grandes rasgos cómo el encéfalo crea la mente. Aquí sólo mencionamos unos cuantos de los aspectos más fascinantes.

El "hemisferio izquierdo" y el "hemisferio derecho" del cerebro se especializan en diferentes funciones

Aunque el cerebro consiste en dos hemisferios de aspecto muy parecido, se ha sabido desde principios del siglo XX que esta simetría no se extiende a la función cerebral. Gran parte de lo que se sabe acerca de las diferencias funcionales de los hemisferios proviene de estudios de víctimas de lesiones o accidentes cerebrovasculares que presentan daños localizados en un hemisferio, de pacientes que tienen un hemisferio temporalmente anestesiado o a los que se les ha cercenado el cuerpo calloso (el cual conecta los dos hemisferios). Este procedimiento quirúrgico todavía se practica en ciertos casos de epilepsia incontrolable para evitar la propagación de ataques de un hemisferio al otro. Como las señales sensoriales llegan a ambos hemisferios y cada lado dirige respuestas apropiadas con base en sus capacidades, una persona cuyo cuerpo calloso se ha cercenado puede desenvolverse con bastante normalidad. Conforme leas acerca de las diferencias entre los hemisferios, recuerda que el encéfalo funciona como una unidad coordinada. Una persona con un cuerpo calloso intacto no puede usar selectivamente uno de los lados; ambos hemisferios contribuyen de maneras complejas a nuestras percepciones, pensamientos, comportamientos y capacidades.

En la década de 1950, Roger Sperry, un neurobiólogo del Instituto Tecnológico de California, estudió a personas cuyos hemisferios se habían separado quirúrgicamente mediante el corte del cuerpo calloso. En sus estudios, Sperry aprovechó el hecho de que los axones dentro de cada tracto óptico (que no se cercenaron quirúrgicamente) siguen un camino de forma que la mitad izquierda de cada campo visual se proyecta en el hemisferio cerebral derecho, mientras que la mitad derecha se proyecta en el hemisferio izquierdo (**FIGURA 38-15**

bro es superior al izquierdo en destrezas musicales y artísticas, reconocimiento de rostros, visualización espacial, así como en la capacidad para reconocer y expresar emociones. Por sus trabajos pioneros, Sperry recibió el Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1981.

Sin embargo, experimentos recientes indican que la dicotomía entre hemisferio izquierdo y derecho no es tan rígida como se creía. Una persona que sufre un accidente cerebrovascular, el cual interrumpe el suministro de sangre a partes específicas de su hemisferio izquierdo, pierde la capacidad de hablar, leer o escribir. Por fortuna, en muchos casos la terapia física permite superar parcialmente estas deficiencias, aunque el hemisferio izquierdo en sí no se haya recuperado. Esto sugiere que el hemisferio derecho tiene cierta capacidad latente para el lenguaje. Resulta interesante el hecho de que las mujeres tengan un cuerpo calloso un poco mayor que los hombres, lo que sugiere una diferencia sexual en el grado de las interconexiones entre los dos hemisferios. Las imágenes de la actividad neuronal en el cerebro de sujetos normales mientras realizan diversas tareas mentales constituyen una evidencia de esta diferencia. Cuando se pidió a los sujetos comparar listas de palabras buscando las que hicieran rima, se activó una región específica de la corteza cerebral de los sujetos masculinos, pero en las mujeres se activaron áreas similares en *ambos* hemisferios. (Se describen otros estudios con imágenes cerebrales en "Investigación científica: Una mirada al interior de la 'caja negra'").

Dilucidar los mecanismos del aprendizaje y la memoria es el objetivo de profundas investigaciones

Aunque abundan las hipótesis acerca de los mecanismos celulares del aprendizaje y la memoria, estamos lejos de comprender por completo estos fenómenos. No obstante, sabemos mucho acerca de la memoria "de trabajo" a corto plazo, la memoria a largo plazo y algunos de los sitios del cerebro implicados en el aprendizaje, la memoria y la recordación en los mamíferos, en particular en los seres humanos.

La memoria puede ser efímera o duradera

Los experimentos muestran que el aprendizaje se efectúa en dos etapas: una **memoria de trabajo** inicial seguida de una **memoria a largo plazo**. Por ejemplo, si buscamos un número en el directorio telefónico, probablemente lo recordaremos el tiempo necesario para marcarlo; ésta es la memoria de trabajo. Pero, si llamamos a ese número con frecuencia, llegará el momento en que lo recordemos de forma más o menos permanente, pues se habrá almacenado en la memoria a largo plazo.

Parte de la memoria de trabajo parece ser de naturaleza eléctrica e implica la actividad repetida de un circuito neuronal específico del encéfalo. En tanto el circuito esté activo, la memoria persistirá. En otros casos, la memoria de trabajo implica cambios bioquímicos temporales dentro de las neuronas de un circuito, con el resultado de que las conexiones sinápticas entre ellas se fortalecen.

En contraste, la memoria a largo plazo parece ser estructural, es decir, tal vez es el resultado de cambios persistentes en la expresión de ciertos genes. Quizá requiera la formación de nuevas conexiones sinápticas duraderas entre neuronas específicas o el fortalecimiento a largo plazo de conexiones sinápticas existentes pero débiles (por ejemplo, aumentando la

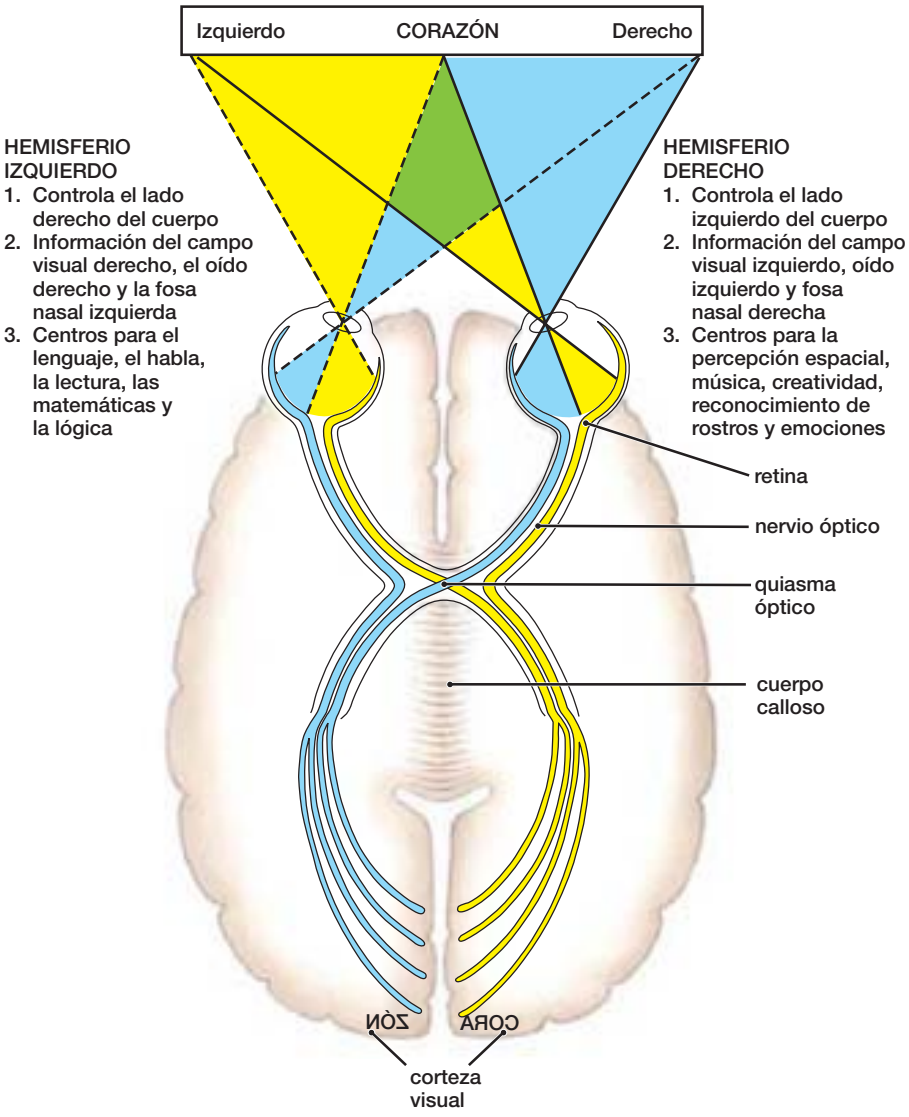

Izquierdo
CORAZÓN
Derecho
HEMISFERIO IZQUIERDO
1. Controla el lado derecho del cuerpo
2. Información del campo visual derecho, el oído derecho y la fosa nasal izquierda
3. Centros para el lenguaje, el habla, la lectura, las matemáticas y la lógica
HEMISFERIO DERECHO
1. Controla el lado izquierdo del cuerpo
2. Información del campo visual izquierdo, oído izquierdo y fosa nasal derecha
3. Centros para la percepción espacial, música, creatividad, reconocimiento de rostros y emociones
retina
nervio óptico
quiasma óptico
cuerpo calloso
CORA ZÓN
corteza visual

FIGURA 38-15 Especialización de los hemisferios cerebrales
Cada mitad de la retina de cada ojo "ve" el campo visual opuesto. Los axones de las mitades de retina que ven el campo visual izquierdo envían información al hemisferio derecho y viceversa. Por consiguiente, con una rápido vistazo a la palabra "corazón" (antes de tener la oportunidad de mover los ojos), el hemisferio derecho percibe "cora" y el hemisferio izquierdo percibe "zón". Además de "ver" diferentes partes del campo visual, en general, los dos hemisferios controlan los lados opuestos del cuerpo y se especializan en una variedad de funciones.

liberación de un neurotransmisor o el número de receptores para ese neurotransmisor). Al parecer, en el proceso de convertir la memoria de trabajo en memoria a largo plazo participa el hipocampo que, según se cree, procesa recuerdos nuevos y luego los transfiere a la corteza cerebral para su almacenamiento permanente.

Los lóbulos temporales son importantes para la memoria

necesita presentarse ante él como si se tratara de un primer encuentro. Este ejemplo y otros sugieren que el hipocampo se encarga de transferir información de la memoria de trabajo a la memoria a largo plazo.

Los lóbulos temporales de los hemisferios cerebrales parecen ser importantes en la *recuperación* de recuerdos almacenados en la memoria a largo plazo. En una serie famosa de experimentos en la década de 1940, el neurocirujano Wilder Penfield estimuló eléctricamente los lóbulos temporales de pacientes conscientes que se estaban sometiendo a cirugía del encéfalo. Los pacientes no sólo pudieron recordar, sino que sintieron que estaban experimentando los sucesos del pasado ¡ahí mismo en el quirófano!

El conocimiento de cómo el cerebro crea la mente proviene de diversas fuentes

Hasta hace unos 100 años, la mente era un tema más apropiado para los filósofos que para los científicos, porque todavía no existían herramientas para estudiar el encéfalo. Durante la primera mitad del siglo XX

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Neuroimágenes: Una mirada al interior de la "caja negra"

Durante casi toda la historia de la humanidad, el cerebro se consideró como una "caja negra" de la cual era posible observar qué entraba y qué salía, pero cuyo funcionamiento interno era inherentemente impenetrable. Sin embargo, nuevas técnicas de imágenes están arrojando conocimientos interesantes acerca de la función cerebral. Entre tales técnicas se encuentran la tomografía por emisión de positrones (*PET*, descrita en el capítulo 2) e imagenología por resonancia magnética funcional (*fMRI*); ambas permiten a los investigadores observar al cerebro en acción.

Las regiones del encéfalo que mayor actividad tienen necesitan más energía, así que consumen más glucosa y atraen un mayor flujo de sangre oxigenada que las áreas menos activas. En las exploraciones por PET, los científicos inyectan al sujeto una sustancia radiactiva, digamos una forma radiactiva de glucosa, y luego monitorean los niveles de radiactividad que reflejan las diferencias en las tasas metabólicas. Los niveles de consumo de glucosa se traducen en colores en imágenes del encéfalo. Al monitorear la radiactividad mientras se está realizando una tarea específica, los científicos pueden identificar qué partes del cerebro están más activas durante esa tarea. En contraste, la fMRI detecta diferencias en la forma en que la sangre oxigenada y la desoxigenada responden a un campo magnético intenso aplicado por un electroimán enorme que rodea al cuerpo. Las regiones activas del cerebro pueden distinguirse mediante fMRI sin usar radiactividad y en menor tiempo que si se emplea PET.

Utilizando fMRI o PET, los investigadores pueden observar cambios cuando el cerebro responde a un olor o a un estímulo visual o auditivo o realiza una tarea de razonamiento específica. Mediante exploraciones del encéfalo, los científicos han confirmado que diferentes aspectos del procesamiento del lenguaje se relacionan con áreas bien definidas de la corteza cerebral (**FIGURA E38-7**). Con fMRI, los investigadores analizaron las áreas del lóbulo frontal que las personas bilingües utilizan para generar palabras. En sujetos que crecieron hablando dos idiomas, se usó la misma región del lóbulo frontal para hablar en ambos idiomas. En sujetos que aprendieron un segundo idioma en una etapa posterior de su vida, se activaron áreas distintas pero adyacentes del lóbulo frontal para los dos idiomas.

Las exploraciones con fMRI también se han utilizado para determinar las partes del cerebro que son más activas durante varios estados emocionales. Por ejemplo, cuando una persona tiene miedo, la amígdala se activa (**FIGURA E38-8a**). Cuando la gente enamorada ve fotografías de su pareja sentimental, se activan otras áreas del cerebro (**FIGURA E38-8b**). Es interesante hacer notar que la mayoría de estas mismas áreas se activan con el consumo de drogas, como la cocaína.

Por cierto, nunca dejes que alguien te diga que ¡utilizamos sólo una pequeña fracción de nuestro cerebro! Aunque las imágenes producidas por PET o fMRI a veces sugieren que sólo una pequeña área del cerebro está activa, esto es porque la actividad de otras regiones se ignoró durante el proceso de formación de imágenes, con el fin de mostrar dónde *cambió* la actividad cerebral como resultado de un estímulo. Las imágenes mostradas aquí sólo destacan áreas donde la actividad es más intensa de lo normal.

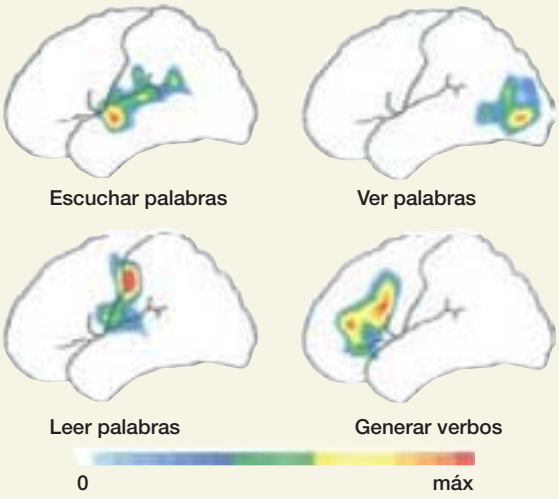


FIGURA E38-7 Localización de las tareas del lenguaje
Los cambios en el consumo de glucosa, medidos por PET, revelan las diferentes regiones de la corteza que intervienen en varias tareas relacionadas con el lenguaje, con base en las investigaciones del doctor Marcus Raichle de la Facultad de Medicina de la Universidad de Washington en Saint Louis, Estados Unidos. La escala va del blanco (más baja) al rojo (más alta).

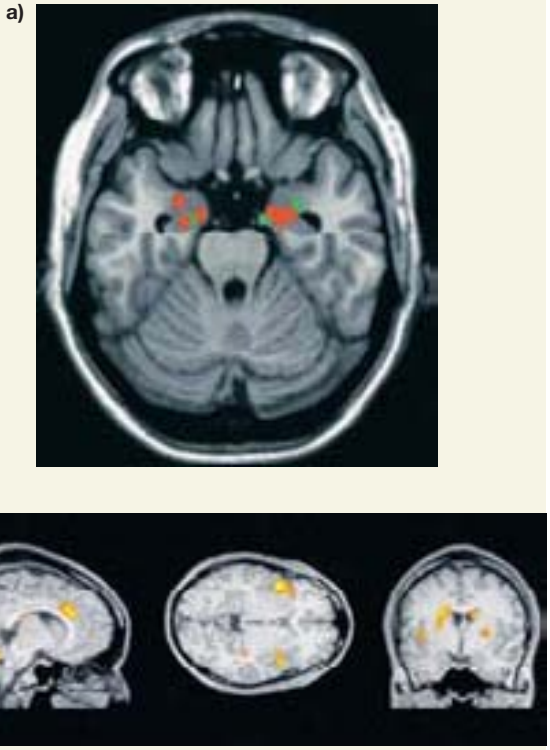


FIGURA E38-8 Localización de emociones
a) La experiencia de miedo activa la amígdala, una parte del prosencéfalo que aparentemente produce emociones como miedo e ira. ***b)*** Al mirar fotografías de la persona amada se activan múltiples partes del cerebro, incluyendo áreas en la corteza cerebral (izquierda) y los ganglios basales (derecha).

presentes se interpretaban e influían en la conducta. Sin embargo, los nuevos descubrimientos están transformando rápidamente nuestra idea del funcionamiento del cerebro.

En las últimas décadas, hemos comenzado a entender las bases neuronales de por lo menos algunos fenómenos psicológicos. Muchas formas de enfermedad mental, como la esquizofrenia, la enfermedad maniaco-depresiva y el autismo, que antes se pensaba eran resultado de traumas infantiles o de la ineptitud de los padres, ahora se reconocen como resultados de desequilibrios en los neurotransmisores o de anormalidades estructurales del encéfalo. Los estudios también han revelado un importante factor de heredabilidad (y, por lo tanto, una base biológica) de características que antes se consideraban exclusivamente resultado del aprendizaje, como la timidez y el alcoholismo.

Sin querer, Phineas Gage proporcionó en 1848 una ilustración impresionante de la relación entre la estructura física del encéfalo y la personalidad. Gage, que trabajaba como capataz en la construcción de ferrocarriles, estaba preparando una carga explosiva cuando ésta detonó. El estallido hizo que una varilla de acero con un peso de seis kilogramos le atravesara el cráneo, dañando sus dos lóbulos frontales (**FIGURA 38-16**). Aunque Gage sobrevivió muchos años después de su accidente, su personalidad cambió radicalmente. Antes del percance, Gage era concienzudo, trabajador y agradaba a todo mundo. Después de su recuperación, se volvió impetuoso, mal hablado e incapaz de trabajar para alcanzar una meta. Investigaciones posteriores han implicado al lóbulo frontal en la expresión de emociones, el control de la agresión, el reconocimiento del comportamiento adecuado y la capacidad para trabajar en pos de una recompensa.

Otros sitios de lesiones han revelado más especializaciones anatómicas. Un paciente con daños en áreas muy pequeñas del lóbulo frontal izquierdo de la corteza cerebral fue incapaz de dar los nombres de frutas y verduras (aunque podía nombrar cualquier otra cosa). Otras víctimas de daños cerebrales han desarrollado una incapacidad selectiva para reconocer rostros o, en un caso reciente, reconocer cualquier objeto que *no sea* un rostro, lo que sugiere que el cerebro tiene una región especializada para reconocer caras, distinta de la región que le permite reconocer objetos en general. Los investigadores han identificado las neuronas individuales en los lóbulos temporales de monos que son selectivas para orientaciones particulares de rostros, como una imagen de archivo o una vista de frente. El área de asociación del lóbulo parietal posterior parece integrar información de varios sentidos diferentes, capacitando al individuo para reconocer su propio cuerpo y su relación con el ambiente. Las personas que sufren daños en uno de los lóbulos parietales en ocasiones pierden conciencia de un lado de su cuerpo y también de los objetos ubicados en ese lado. Por ejemplo, es posible que ignoren la comida en un lado del plato o que se pierdan porque no reconocen los corredores en un lado del edificio. Un paciente no reconoció su propia pierna y trató varias veces de sacarla de su cama del hospital. Sin embargo, con el tiempo, otras áreas del cerebro tienden a compensar el daño y restablecer la percepción.

En otros tiempos, una buena parte de lo que averiguamos acerca de la relación mente-encéfalo en el ser humano provino del estudio de víctimas de daños cerebrales como los causados por accidentes cerebrovasculares, traumatismos, tumores o cirugía. Por lo regular, no se conocía el alcance exacto de los daños antes de que una autopsia lo revelara. En la actualidad nuevas técnicas nos permiten conocer mejor el funcionamiento del encéfalo normal, no sólo del encéfalo enfermo (véase "Investigación científica: Neuroimágenes: Una mirada al interior de la 'caja negra'"). Estas técnicas, y las cada vez más avanzadas que se usarán en el futuro, abrirán ventanas cada vez más grandes para ver al interior del encéfalo humano y permitirán comprender más claramente cómo se genera la mente humana.

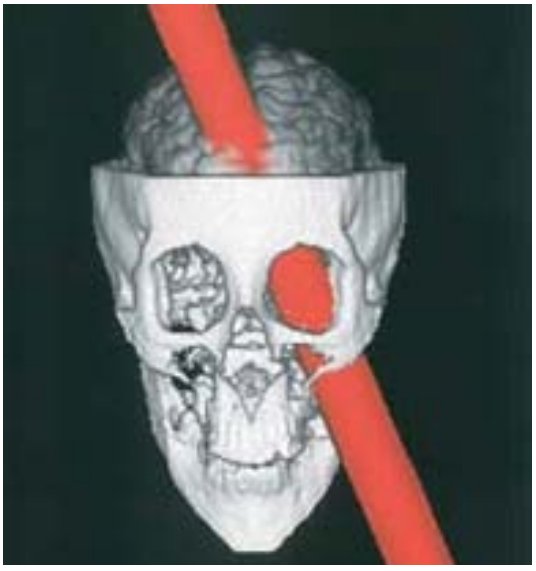


FIGURA 38-16 Un accidente revelador
Con base en estudios del cráneo de Phineas Gage, los científicos han generado por computadora esta reconstrucción del camino que siguió la varilla de acero que atravesó su encéfalo impulsada por una explosión.

38.6 ¿CÓMO FUNCIONAN LOS RECEPTORES SENSORIALES?

La palabra *receptor* se usa en varios contextos en biología. En el sentido más general, un **receptor** es una estructura que cambia cuando un estímulo de su entorno actúa sobre ella y ese cambio genera una señal. El receptor podría ser una proteína de membrana que cambia de forma cuando se une con una hormona o un neurotransmisor específico, como vimos en capítulos anteriores. En neurobiología, un **receptor sensorial** podría ser toda célula especializada (por lo regular, una neurona) que produce una respuesta eléctrica a estímulos específicos, es decir, una célula que traduce estímulos sensoriales al lenguaje del sistema nervioso. Todos los receptores sensoriales producen señales eléctricas, pero cada tipo de receptor se especializa en producir su señal únicamente en respuesta a un tipo dado de estímulo del entorno (**tabla 38-2**).

La estimulación de un receptor sensorial produce una señal eléctrica llamada **potencial de receptor**. La amplitud del potencial de receptor varía según la intensidad del estímulo: cuanto más fuerte sea el estímulo, mayor será el potencial de receptor. En algunos receptores sensoriales neuronales, el potencial de receptor hace que la célula rebase el umbral y se generen potenciales de acción; un potencial de receptor gran-

Tabla 38-2 Algunos tipos de receptores de los vertebrados

Tipo de receptor	Tipo de célula sensorial	Estímulo	Ubicación
Termorreceptor	Terminación nerviosa libre	Calor, frío	Piel
Mecanorreceptor	Célula pilosa	Vibración, movimiento, gravedad	Oído interno
	Terminaciones nerviosas especializadas y terminaciones nerviosas libres en la piel (corpúsculo de Pacini, disco de Merkel)	Vibración, presión, tacto	Piel
	Terminaciones nerviosas especializadas en músculos o articulaciones (huso muscular, órgano tendinoso de Golgi)	Estiramiento	Músculos, tendones
Fotorreceptor	Bastón, cono	Luz	Retina del ojo
Quimiorreceptor	Receptor olfatorio	Olor (moléculas en el aire)	Cavidad nasal
	Receptor del gusto	Sabor (moléculas en agua)	Lengua
Receptor del dolor	Terminación nerviosa libre	Sustancias químicas liberadas por tejidos lesionados	Distribuidos por todo el cuerpo

de llevará a las neuronas por arriba del umbral durante un lapso relativamente prolongado, provocando una alta frecuencia de potenciales de acción a lo largo de sus axones. En algunos receptores sensoriales muy pequeños, los potenciales de receptor directamente hacen que se liberen neurotransmisores sobre neuronas postsinápticas, las que a la vez producen potenciales de acción que viajan hasta el sistema nervioso central. En estos casos, un potencial de receptor grande provoca la liberación de una gran cantidad de transmisores en la neurona postsináptica, llevando a su potencial de membrana por encima del umbral y produciendo una frecuencia alta de potenciales de acción. Como ya vimos, la frecuencia de potenciales de acción es el recurso con que cuenta el cerebro para determinar la intensidad de un estímulo.

Algunos receptores, llamados *terminaciones nerviosas libres*, consisten en ramificaciones de las dendritas de las neuronas sensoriales; otros receptores tienen estructuras especializadas que les ayudan a responder a estímulos específicos. Muchos receptores sensoriales forman cúmulos en órganos sensoriales, como los ojos, los oídos, la piel y la lengua. Su actividad eléctrica, después de ser procesada por el cerebro, da origen a las percepciones subjetivas de luz, sonido, tacto y gusto que se describen como nuestros "sentidos". En las siguientes secciones nos centraremos en algunos sentidos que determinan la forma en que los seres humanos percibimos el mundo.

38.7 ¿CÓMO SE DETECTAN LOS ESTÍMULOS MECÁNICOS?

Los mecanorreceptores se encuentran por todo el cuerpo. Incluyen receptores en la piel que responden al tacto, la vibración o la presión; los receptores de estiramiento en muchos órganos internos; sensores de posición en las articulaciones; y receptores en el oído interno que nos permiten detectar el sonido (véase el apartado 38.8).

La piel de los humanos y la mayoría de los demás vertebrados es extremadamente sensible al tacto. Directamente debajo de la piel e incrustados en ella hay varios tipos de neuronas mecanorreceptoras, cada una con una dendrita que produce un potencial de receptor cuando su membrana se estira o se comprime (**FIGURA 38-17** producir sensaciones de comezón o cosquilleo, así como de contacto. Las terminaciones de otros receptores están encerradas dentro de capas de tejido conectivo; por ejemplo, el corpúsculo de Pacini, que responde a cambios rápidos en la presión, como vibraciones o una punta filosa. La densidad de los mecanorreceptores en la piel varía considerablemente en la superficie del cuerpo. Cada centímetro cuadrado de la yema de los dedos tiene docenas de receptores del tacto, pero en la parte posterior de los dedos existe menos de un receptor por centímetro cuadrado.

Los mecanorreceptores en muchos órganos huecos, como el estómago, el intestino, el recto y la vejiga urinaria, dan la sensación de estar llenos cuando perciben estiramiento. Los mecanorreceptores en las articulaciones, que a menudo responden también al estiramiento, nos permiten saber si nuestros codos están flexionados o estirados, y qué tanto, sin tener que mirarlos. Imagina qué tedioso sería tener que observar con detenimiento el tenedor en su camino hacia nuestra boca ¡para evitar picarnos en la cara!

38.8 ¿CÓMO SE DETECTA EL SONIDO?

Todo objeto que vibra produce un sonido: un tambor, las cuerdas vocales o la bocina de un equipo de sonido. Estas vibraciones se transmiten a través del aire y son interceptadas por nuestros oídos, los cuales son complejas estructuras que detectan la dirección, el tono y la intensidad del sonido.

El oído convierte las ondas sonoras en señales eléctricas

El oído humano, y el de la mayoría de los vertebrados, consta de tres partes: el oído externo, el medio y el interno (**FIGURA 38-18a**). El **oído externo** está formado por el **pabellón auricular** y el **canal auditivo**. El pabellón auricular es el cartílago cubierto de piel unido a la superficie de la cabeza. Recoge ondas sonoras, las modifica y las convierte en formas que el cerebro utiliza para determinar la ubicación de la fuente de sonido. El canal auditivo, lleno de aire, conduce las ondas sonoras al **oído medio**, que consta de la **membrana timpánica** o *tímpano;* tres huesecillos llamados *martillo, yunque* y *estribo;* y el **tubo auditivo** (también llamado la *trompa de Eustaquio*

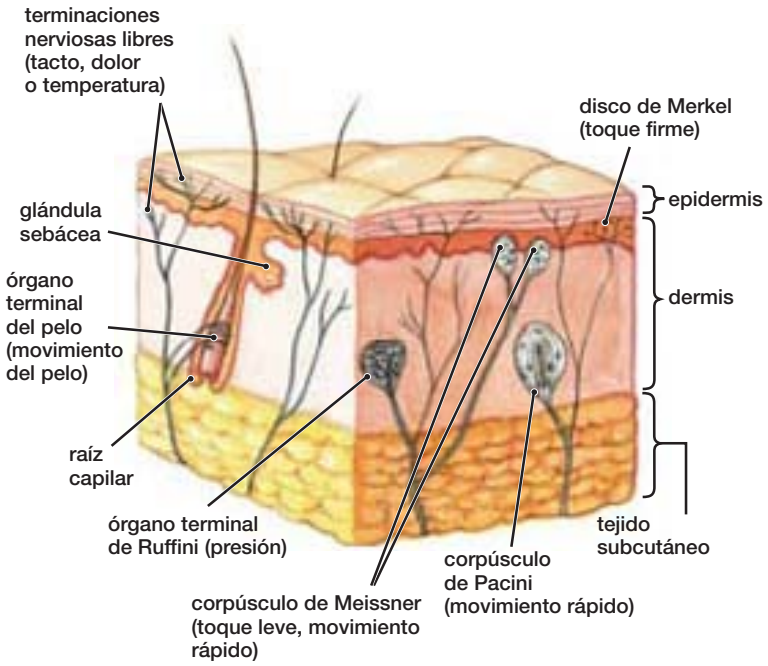

terminaciones nerviosas libres (tacto, dolor o temperatura)
disco de Merkel (toque firme)
epidermis
glándula sebácea
dermis
órgano terminal del pelo (movimiento del pelo)
raíz capilar
órgano terminal de Ruffini (presión)
tejido subcutáneo
corpúsculo de Pacini (movimiento rápido)
corpúsculo de Meissner (toque leve, movimiento rápido)

FIGURA 38-17 Receptores en la piel humana
La diversidad de receptores en la piel nos permite sentir contacto, presión, vibración, cosquilleo, comezón, dolor, calor y frío.

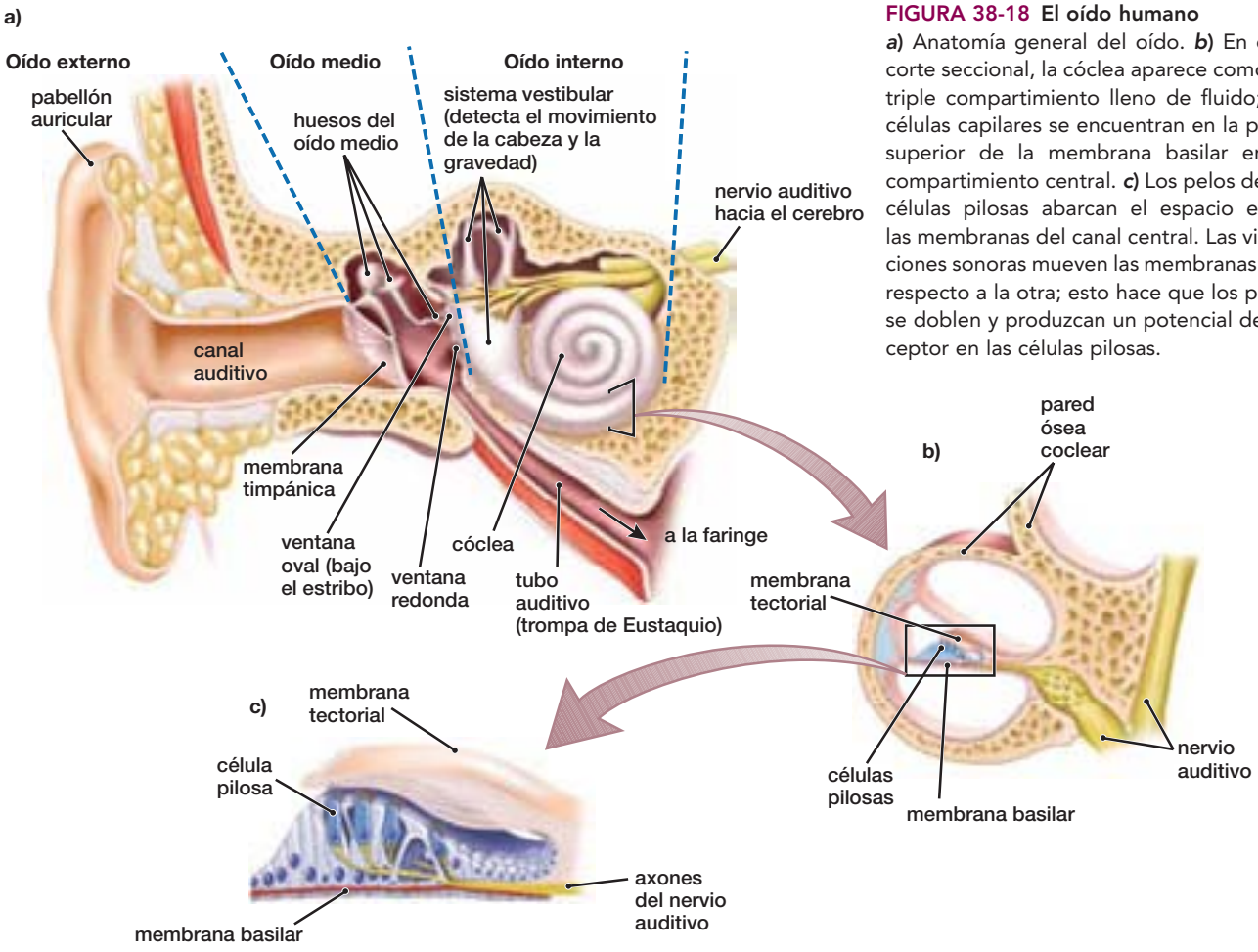


FIGURA 38-18 El oído humano
a) Anatomía general del oído. ***b***) En este corte seccional, la cóclea aparece como un triple compartimiento lleno de fluido; las células capilares se encuentran en la parte superior de la membrana basilar en el compartimiento central. ***c***) Los pelos de las células pilosas abarcan el espacio entre las membranas del canal central. Las vibraciones sonoras mueven las membranas una respecto a la otra; esto hace que los pelos se doblen y produzcan un potencial de receptor en las células pilosas.

en la presión del aire (como los que experimentamos durante el despegue o aterrizaje del avión en que viajamos) pueden ser dolorosos.

Las ondas sonoras que viajan por el canal auditivo hacen que vibre la membrana timpánica, y esto a la vez hace que vibren el martillo, el yunque y el estribo. Estos huesecillos

transmiten vibraciones al **oído interno**. Los huesos huecos del oído interno están llenos de líquido y forman la **cóclea**, que tiene forma espiral (cóclea significa "caracol" en latín), además de otras estructuras del *sistema vestibular* que detectan los movimientos de la cabeza y la atracción de la gravedad. El estribo transmite vibraciones al líquido dentro de la cóclea haciendo vibrar una membrana llamada *ventana oval.* La *ventana redonda* es una segunda membrana situada debajo de la ventana oval, que permite al líquido dentro de la cóclea moverse hacia un lado y otro cuando el estribo hace vibrar a la ventana oval.

Las vibraciones se convierten en señales eléctricas en la cóclea

Si hiciéramos un corte longitudinal de la cóclea, veríamos que consiste en tres compartimientos llenos de líquido. El compartimiento central aloja los receptores y las estructuras de apoyo que los activan en respuesta a las vibraciones sonoras. El "piso" de la cámara central consiste en la **membrana basilar**, sobre la cual están los mecanorreceptores, llamados **células pilosas**, que tienen pequeños cuerpos celulares sobre los cuales hay proyecciones que semejan pelos o cilios rígidos. Algunos de estos últimos están envueltos en una estructura gelatinosa llamada **membrana tectorial**, la cual se proyecta hacia el canal central (**FIGURA 38-18b, c**).

¿Cómo hacen posible todas estas estructuras la percepción de sonidos? La ventana oval transmite vibraciones de los huesecillos del oído medio al líquido de la cóclea, el cual a la vez hace vibrar a la membrana basilar, que se mueve hacia arriba y abajo. Este movimiento hace que se doblen los pelos de las células pilosas, desencadenando una serie de sucesos que culminan con la generación de potenciales de receptor. Entonces, las células pilosas liberan neurotransmisores hacia las neuronas cuyos axones constituyen el nervio auditivo. Así, estos axones producen potenciales de acción que viajan a los centros de procesamiento del sonido en el cerebro.

¿Cómo percibimos la *intensidad* (magnitud) de las vibraciones sonoras y su *tono* (la frecuencia; por ejemplo, de una nota musical). Los sonidos débiles producen leves vibraciones del tímpano, los huesos del oído medio, la ventana oval y la membrana basilar. Luego, los pelos se doblan de manera que las células pilosas producen pequeños potenciales de receptor que provocan la liberación de una diminuta cantidad de neurotransmisor y generan una baja frecuencia de potenciales de acción en los axones del nervio auditivo. Los sonidos fuertes causan grandes vibraciones de todas estas estructuras, que doblan más a los pelos y producen un potencial de receptor mayor, el cual genera una alta frecuencia de potenciales de acción en el nervio auditivo. Los sonidos muy fuertes pueden dañar las células pilosas (**FIGURA 38-19a**) y causar sordera, como ha sucedido con muchos músicos de rock y con los aficionados a él. De hecho, muchos sonidos de nuestro entorno cotidiano podrían llegar a dañar el oído, sobre todo si se prolongan (**FIGURA 38-19b**

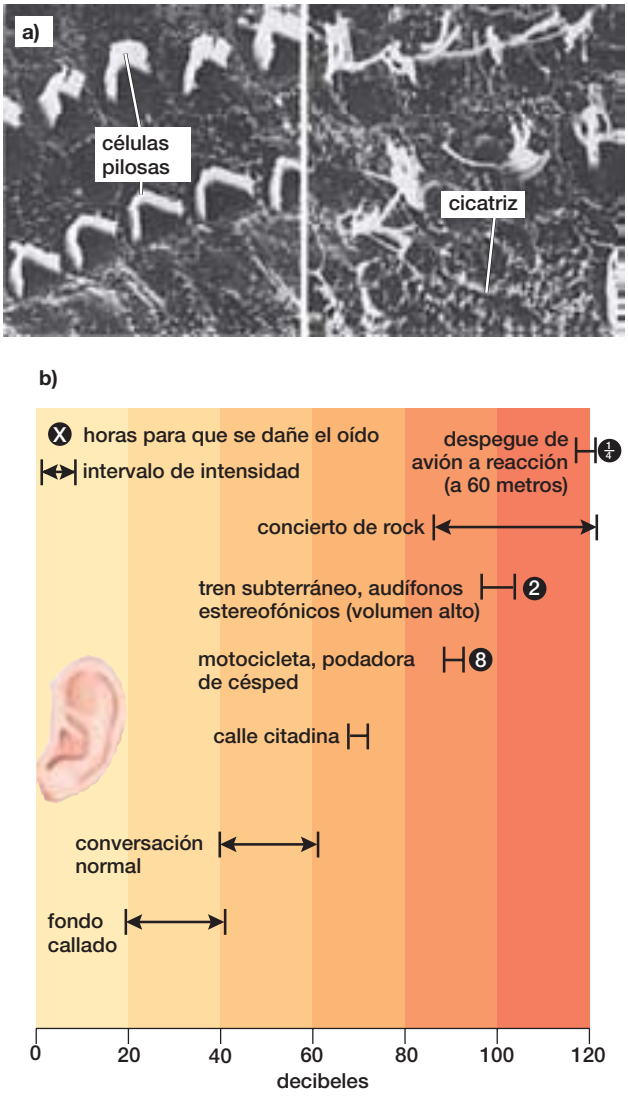


FIGURA 38-19 Los sonidos intensos pueden dañar las células pilosas

a) Estas micrografías electrónicas de barrido muestran el efecto de un sonido intenso sobre las células pilosas del oído interno. Pelos de las células pilosas de un cobayo normal; los pelos salen de cada receptor con un patrón en forma de V. Después de 24 horas de exposición a un nivel de sonido al que la música de rock fuerte se acerca (2000 vibraciones por segundo a 120 decibeles), muchos de los pelos están dañados o han desaparecido, dejando "cicatrices" (derecha). Las células pilosas del ser humano no se regeneran, así que esta sordera es permanente. [Micrografías de Robert S. Preston, cortesía del profesor J. E. Hawkins, Kresge Hearing Research Institute, Facultad de Medicina, Universidad de Michigan]. ***b)*** Niveles de sonido de ruidos cotidianos y su potencial para dañar el oído. La intensidad de los sonidos se mide en *decibeles* en una escala logarítmica; un sonido de 10 decibeles es 10 veces más intenso que uno de 1 decibel, y un sonido de 20 decibeles es 100 veces más fuerte. Sentimos dolor con intensidades por arriba de los 120 decibeles. [*Fuente:* Fundación para la Investigación de la Sordera, Instituto Nacional de la Sordera y otros Trastornos de Comunicación].

notas altas cerca de la ventana oval y las notas bajas cerca de la punta de la cóclea. El cerebro interpreta las señales de receptores cercanos a la ventana oval como sonidos agudos, y las de las células pilosas cercanas a la cóclea, como sonidos graves.

38.9 ¿CÓMO SE DETECTA LA LUZ?

La visión animal varía en cuanto a su capacidad para ofrecer una representación nítida y exacta del mundo real, y la evolución ha producido de forma independiente varios tipos de ojos. No obstante, todos los tipos de ojos emplean *fotorreceptores*, esto es, células sensoriales que contienen moléculas receptoras llamadas **fotopigmentos** (porque están coloreadas), que cambian de forma cuando absorben luz. Este cambio en la forma inicia una serie de reacciones químicas dentro de la célula receptora y finalmente produce un potencial de receptor.

Los ojos compuestos de los artrópodos producen una imagen de mosaico

Los artrópodos (insectos, arañas y crustáceos) desarrollaron **ojos compuestos**, que consisten en un mosaico de muchas subunidades individuales, sensibles a la luz, llamadas **omatidias** (FIGURA 38-20). Cada omatidia funciona como un detector del tipo encendido/apagado que distingue entre luz brillante y luz tenue. Al utilizar un gran número de omatidias (hasta 36,000 por ojo en una libélula), es muy probable que la mayoría de los artrópodos vean una imagen razonablemente exacta, aunque de "grano" un tanto tosco, del mundo. Los ojos compuestos son excelentes para detectar movimientos, lo cual es una ventaja para evitar depredadores y para cazar. Además, muchos artrópodos, como las abejas y las mariposas, tienen buena percepción de los colores.

El ojo de los mamíferos capta y enfoca las ondas luminosas y las convierte en señales eléctricas

Los ojos de los mamíferos constan de dos partes principales. La **retina** es una membrana de varias capas de células fotorreceptoras y neuronas asociadas. En respuesta a la luz, los fotorreceptores estimulan las neuronas para producir finalmente potenciales de acción en las neuronas cuyos axones forman el nervio óptico. El resto del ojo es una serie de estructuras que transmiten luz, regulan la cantidad de luz que entra al ojo y la enfocan en los fotorreceptores (FIGURA 38-21). Cuando lees, la luz reflejada de la página incide primero en la **córnea**, una cubierta transparente en la parte frontal del globo ocular, que recibe las ondas de luz y comienza a enfocarlas. Detrás de la córnea, la luz atraviesa una cámara llena con un líquido acuoso, llamado **humor acuoso**, que nutre tanto al cristalino como a la córnea. El **iris**, formado por tejido muscular pigmentado, ajusta la cantidad de luz que ingresa en el ojo. El iris regula el tamaño de la **pupila**, una abertura circular en su centro. La luz que atraviesa la pupila incide en el **cristalino**

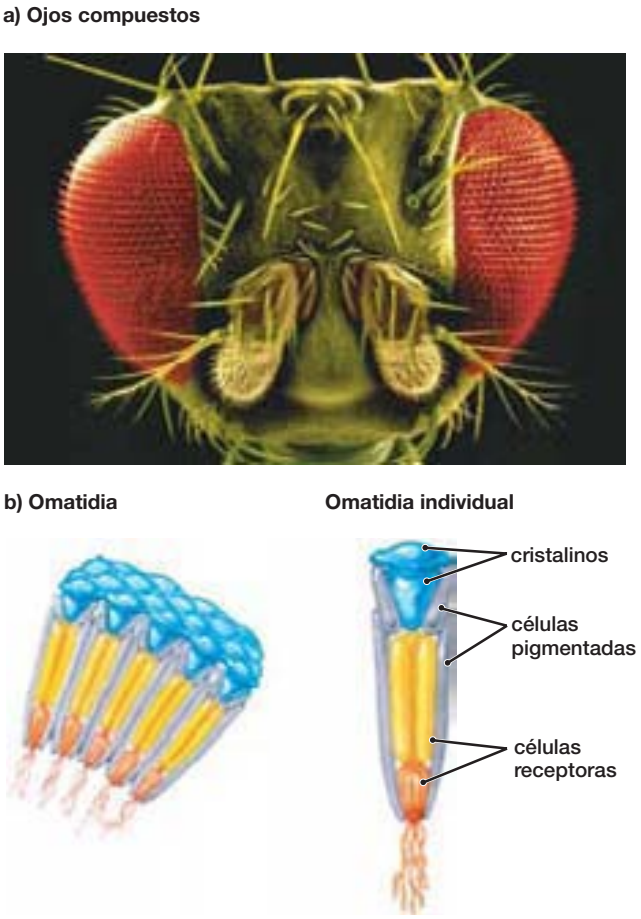


FIGURA 38-20 Ojos compuestos
a) Micrografía electrónica de barrido de la cabeza de una mosca de la fruta, en la que se aprecia un ojo compuesto a cada lado de la cabeza. ***b)*** Cada ojo se compone de numerosas omatidias sensibles a la luz. Dentro de cada omatidia hay varias células receptoras cubiertas por un cristalino. Células pigmentadas que rodean cada omitidia evitan que se filtre luz a los receptores adyacentes.

nosa transparente que permite que la luz pase libremente y que ayuda a mantener la forma del ojo.

Después de pasar por el humor vítreo, la luz llega finalmente a la retina. Ahí, la energía luminosa se convierte en potenciales de acción que se transmiten al cerebro. Detrás de la retina está la **coroides**, un tejido pigmentado de color oscuro. El abundante aporte sanguíneo de la coroides nutre a las células de la retina. Su pigmento oscuro absorbe los restos de luz cuya reflexión dentro del globo ocular interferiría con la visión clara. La porción exterior del glóbulo ocular está rodeada por la **esclerótica**

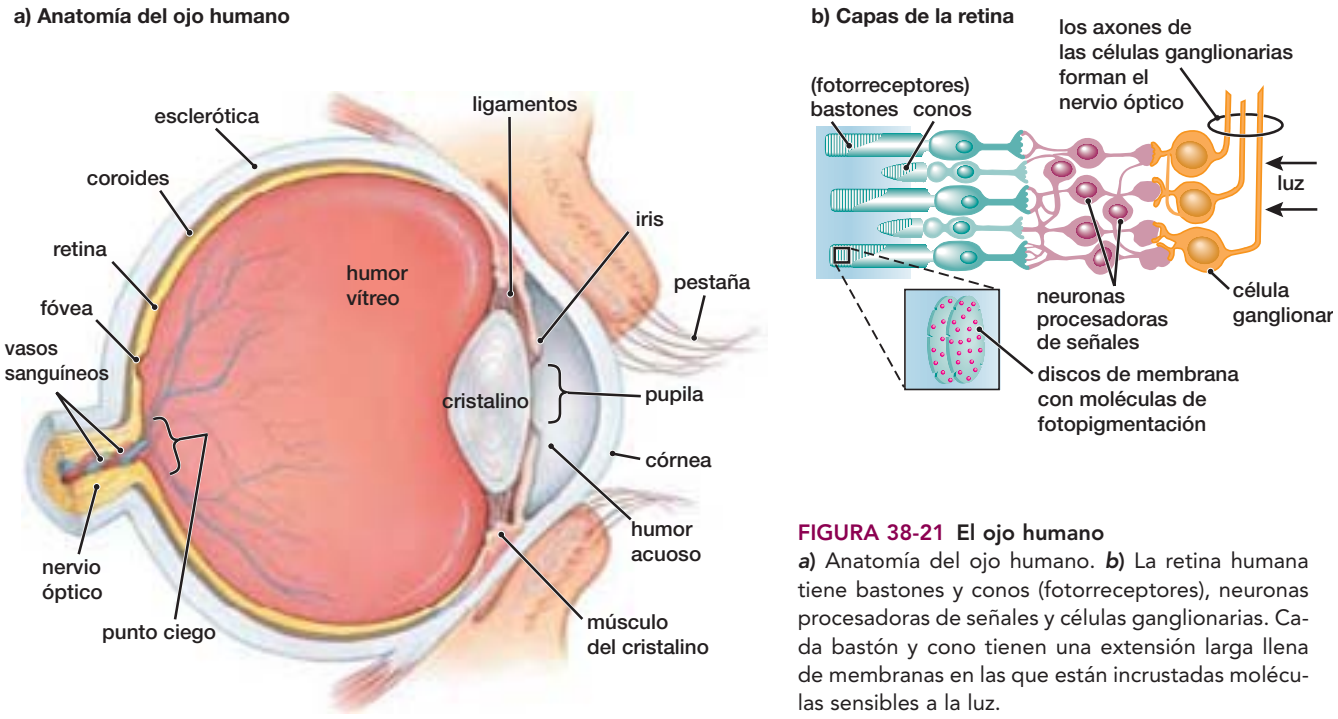


FIGURA 38-21 El ojo humano
a) Anatomía del ojo humano. ***b)*** La retina humana tiene bastones y conos (fotorreceptores), neuronas procesadoras de señales y células ganglionarias. Cada bastón y cono tienen una extensión larga llena de membranas en las que están incrustadas moléculas sensibles a la luz.

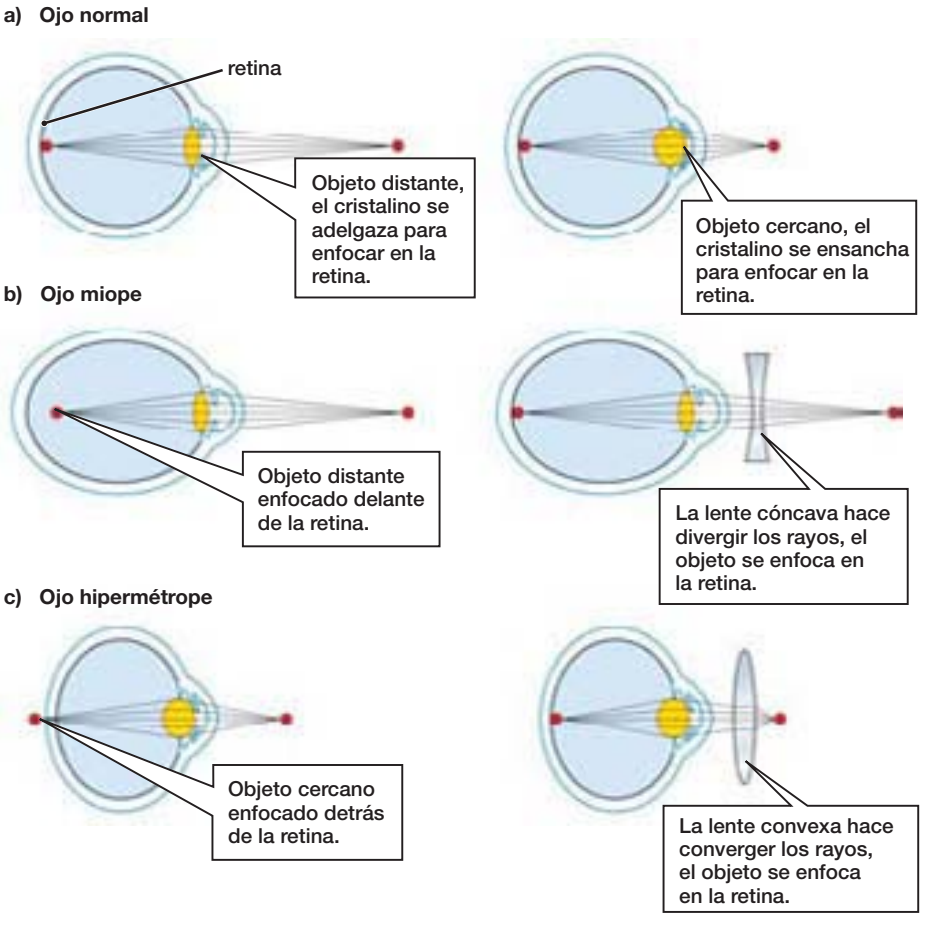

a) Ojo normal
retina
Objeto distante, el cristalino se adelgaza para enfocar en la retina.
Objeto cercano, el cristalino se ensancha para enfocar en la retina.
b) Ojo miope
Objeto distante enfocado delante de la retina.
La lente cóncava hace divergir los rayos, el objeto se enfoca en la retina.
c) Ojo hipermétrope
Objeto cercano enfocado detrás de la retina.
La lente convexa hace converger los rayos, el objeto se enfoca en la retina.

FIGURA 38-22 Enfoque del ojo humano
PREGUNTA: En la actualidad muchas personas miopes o hipermétropes eligen corregir sus problemas de visión con cirugía láser en la córnea en vez de utilizar lentes correctivos. En el caso de la miopía e hipermetropía, ¿cómo deberían modificarse las córneas para corregir el problema?

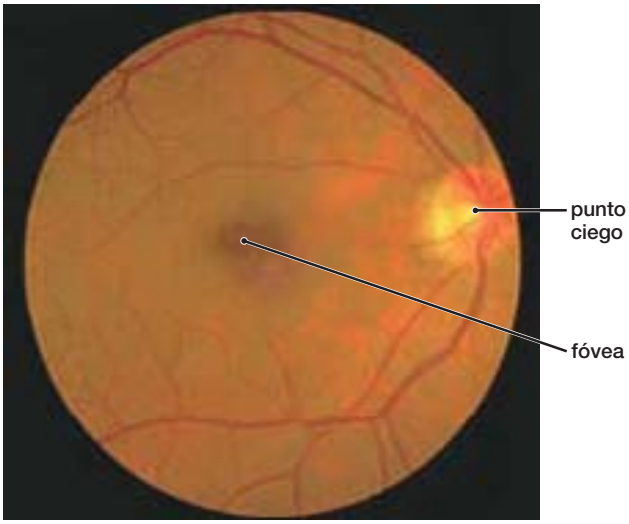


FIGURA 38-23 La retina humana
Porción de la retina humana, fotografiada a través de la córnea y el cristalino de una persona viva. Se distinguen el punto ciego y la fóvea. Los vasos sanguíneos suministran oxígeno y nutrimentos; como se observa, los vasos son más densos cerca del punto ciego (donde no interfieren con la visión) y más escasos cerca de la fóvea.

porciona a éstos una segunda oportunidad de detectarla, y esto aumenta al máximo la capacidad del animal para ver con luz tenue. Las coroides reflectantes confieren a los ojos de estos animales un extraño color rojo o azul cuando una luz brillante (como la de los faros de un automóvil) se refleja a través de la pupila abierta por completo. ¡Imagina lo cegadores que son los faros para un ciervo!

El cristalino ajustable permite enfocar objetos tanto distantes como cercanos

La imagen visual se enfoca con mayor nitidez en una pequeña área de la retina llamada **fóvea**. Aunque el enfoque se inicia en la córnea, cuyo contorno redondeado refracta los rayos de luz, el cristalino es responsable del enfoque nítido final. Los músculos que rodean al cristalino ajustan su forma. Si vemos al cristalino de lado, estará abombado para enfocarse en objetos cercanos, o aplastado para enfocarse en objetos distantes (**FIGURA 38-22a**).

Si el globo ocular es demasiado largo o la córnea está demasiado redondeada, la persona sufrirá **miopía**, lo que significa que la luz de objetos distantes se enfocará delante de la retina. Las personas con **hipermetropía**, cuyos globos oculares son demasiado cortos o cuyas córneas están muy aplanadas, enfocan la luz proveniente de objetos cercanos detrás de la retina. Estas condiciones se pueden corregir con lentes de contacto o externos de la forma apropiada (**FIGURA 38-22b, c**

Los fotorreceptores y las neuronas en la retina captan la luz, procesan las señales eléctricas resultantes y producen potenciales de acción en el nervio óptico

El ojo de los vertebrados proporciona la visión más nítida del reino animal, pese a que la compleja retina de varias capas está "construida al revés" desde una perspectiva de ingeniería. Los fotorreceptores, llamados **bastones** y **conos** por su forma, reúnen la luz en la parte trasera de la retina (véase la figura 38-21b). Entre los receptores y la luz incidente hay varias capas de neuronas que procesan las señales de los fotorreceptores. Estas neuronas enriquecen nuestra capacidad de detectar orillas de los objetos, movimiento, luz tenue y cambios en la intensidad de la luz. La capa retinal más cercana al humor vítreo consiste en **células ganglionarias**, cuyos axones forman el **nervio óptico**. La señal modificada de los fotorreceptores y las neuronas asociadas se convierten en potenciales de acción en las células ganglionarias. Para llegar al cerebro, los axones de las células ganglionarias deben atravesar la retina en un punto llamado **punto ciego** (**FIGURA 38-23**; véase también la figura 38-21a). Esta área carece de receptores, de manera que los objetos que se enfocan ahí no se ven. Para localizar el punto ciego debemos cerrar el ojo izquierdo y enfocar de forma constante la estrella que aparece abajo con el ojo derecho (**FIGURA 38-24**).

FIGURA 38-24 Localización del punto ciego

Coloca inicialmente el libro a unos 30 centímetros de distancia y acércalo gradualmente. El círculo desaparecerá cuando su imagen se enfoque en el punto ciego. En la vida cotidiana, el cerebro recibe información de los dos ojos, y éstos se enfocan constantemente hacia delante y atrás, de manera que casi nunca percibimos un "hueco" en nuestro campo visual.

Los bastones y conos difieren en su distribución y sensibilidad a la luz

estimulación aproximadamente igual de conos rojos y verdes. Entre el 4 y el 8 por ciento de los hombres tienen dificultad para distinguir el rojo del verde porque poseen un gen defectuoso para el fotopigmento rojo o verde en el cromosoma X (véase el capítulo 12).

Los bastones dominan en las porciones periféricas de la retina. Estos receptores —que son más largos que los conos y contienen mucho más pigmento— son bastante más sensibles a la luz que los conos y, en general, son los que nos permiten ver con luz tenue. A diferencia de los conos, los bastones no distinguen colores; a la luz de la Luna, que es demasiado tenue para activar los conos, vemos el mundo en tonos de gris.

No todos los animales tienen bastones y conos. Los animales que están activos casi exclusivamente durante el día (ciertos lagartos, por ejemplo) sólo tienen conos en la retina, mientras que muchos animales nocturnos (como las ratas y los hurones) o los que viven en lugares donde hay poca iluminación (como los peces del mar profundo) tienen principalmente (o exclusivamente) bastones.

La visión binocular permite percibir la profundidad

La ubicación de los ojos de los vertebrados en la cabeza está determinada por el estilo de vida del animal. Los depredadores y los omnívoros tienen los dos ojos dirigidos hacia delante (FIGURA 38-25a), pero casi todos los herbívoros tienen un ojo en cada lado de la cabeza (FIGURA 38-25b). Los ojos hacia delante de los depredadores y omnívoros tienen campos visuales ligeramente diferentes, pero con un traslape extenso. Esta **visión binocular** permite percibir la profundidad y calcular con exactitud la distancia a la que está un objeto. Ambas capacidades son importantes para un gato que está a punto de saltar sobre un ratón y para un mono que salta de una rama a otra.

En contraste, los ojos tan espaciados de los herbívoros casi no tienen traslape en sus campos visuales; se sacrifica la exactitud en la percepción de la profundidad a favor de un campo visual de casi 360 grados. Esta visión permite al animal, que suele tener depredadores, detectarlos cuando se acercan desde cualquier dirección.

38.10 ¿CÓMO SE DETECTAN LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS?

Mediante los sentidos químicos que utilizan quimiorreceptores (véase la tabla 38-2), los animales encuentran alimento, evitan materiales venenosos, localizan sus hogares o encuentran una pareja y conservan la homeostasis. Los quimiorreceptores en ciertos vasos sanguíneos grandes y en el hipotálamo del encéfalo supervisan los niveles de moléculas cruciales como azúcar, agua, oxígeno y dióxido de carbono en la sangre; también estimulan las actividades que mantienen estos niveles dentro de estrechos límites. Los vertebrados terrestres tienen dos sentidos distintos para detectar las sustancias químicas fuera del cuerpo: uno, llamado **olfato**, para las moléculas que flotan en el aire, y otro, llamado **gusto**, para las sustancias disueltas en agua o en la saliva.

Los receptores olfatorios detectan las sustancias químicas en el aire

En el ser humano y en casi todos los demás vertebrados, los receptores del olfato son células nerviosas situadas en un parche de tejido epitelial cubierto por moco en la porción superior de cada fosa nasal (FIGURA 38-26). El epitelio olfatorio humano es pequeño, en comparación con el de muchos otros mamíferos (los perros, por ejemplo), cuyo sentido del olfato es cientos de veces más agudo que el nuestro. Los receptores olfatorios tienen dendritas parecidas a pelos que se proyectan hacia la fosa nasal y están envueltos en una capa de moco. Las moléculas odoríferas en el aire, como las producidas por una taza de café, se difunden al interior de la capa de moco y se unen a receptores en las dendritas.

Los humanos producimos unas 500 proteínas olfatorias diferentes, pero cada neurona de un receptor olfatorio expresa sólo un tipo. Cada proteína receptora se especializa en unirse a un tipo específico de molécula y estimular al receptor olfatorio para que envíe un mensaje al cerebro. Muchos olores son mezclas complejas de moléculas que estimulan varias proteínas receptoras, de manera que nuestra percepción de olores surge de las respuestas de múltiples receptores.

a)

b)

FIGURA 38-25 La posición de los ojos difiere en los depredadores y en las presas
a) Casi todos los depredadores, como este búho, y los primates tienen los ojos al frente; ambos ojos pueden enfocarse en un blanco para ofrecer visión binocular. ***b)*** Casi todos los animales herbívoros que son presas, como los conejos, tienen los ojos a los lados, para avistar mejor a los posibles depredadores. PREGUNTA: ¿Por qué algunos herbívoros o frugívoros, como los monos y los murciélagos que comen fruta, tienen los ojos al frente?

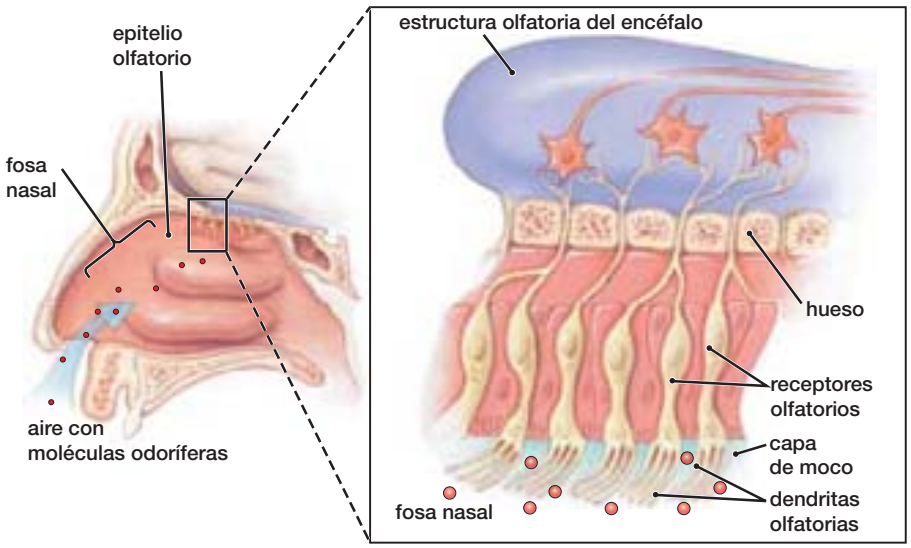


FIGURA 38-26 Receptores olfatorios humanos
Los receptores del olfato en el ser humano son neuronas que tienen proyecciones microscópicas parecidas a pelos y dirigidas hacia la fosa nasal. Las proyecciones están envueltas en una capa de moco en la que se disuelven las moléculas odoríferas antes de entrar en contacto con los receptores.

Los receptores del gusto detectan las sustancias que entran en contacto con la lengua

La lengua humana tiene aproximadamente 10,000 **papilas** o **yemas gustativas**, unas estructuras incrustadas en pequeñas protuberancias (llamadas *papilas)* que cubren la superficie de la lengua (FIGURA 38-27a). Cada papila gustativa consiste en un cúmulo de 60 a 80 células receptoras del gusto rodeadas por células de apoyo en una pequeña fosa. Las células de la fosa se comunican con la boca a través de un poro gustativo (FIGURA 38-27b). Las microvellosidades (delgadas proyecciones de la membrana) de las células receptoras del gusto salen por el poro. Las sustancias disueltas entran por el poro y se unen a moléculas receptoras de las microvellosidades y al hacerlo producen un potencial de receptor.

Desde hace mucho se conocen los cuatro tipos principales de receptores del gusto: dulce, agrio, salado y amargo. Hace poco se identificó un quinto tipo, *umami*

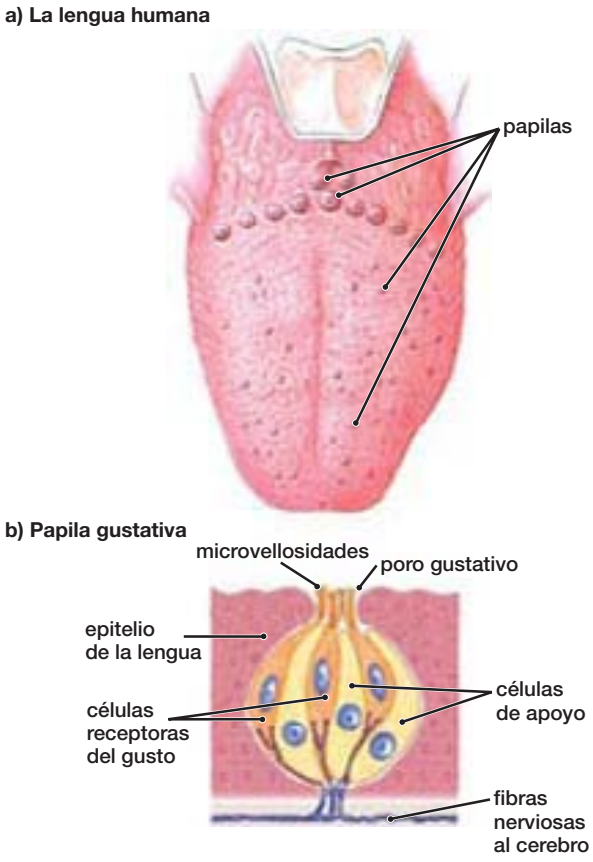


FIGURA 38-27 Receptores del gusto humanos
a) La lengua humana está cubierta de papilas: protuberancias en las que están incrustadas las papilas gustativas. Los dos tercios anteriores de la lengua tienen papilas pequeñas; en la parte de atrás hay protuberancias más grandes con más papilas gustativas. ***b)*** Cada papila gustativa consiste en células de apoyo que rodean a entre 60 y 80 células receptoras del gusto, cuyas microvellosidades salen por el poro gustativo. Las microvellosidades tienen receptores proteicos que se unen a las moléculas del sabor que entran por el poro gustativo y producen un potencial de receptor.

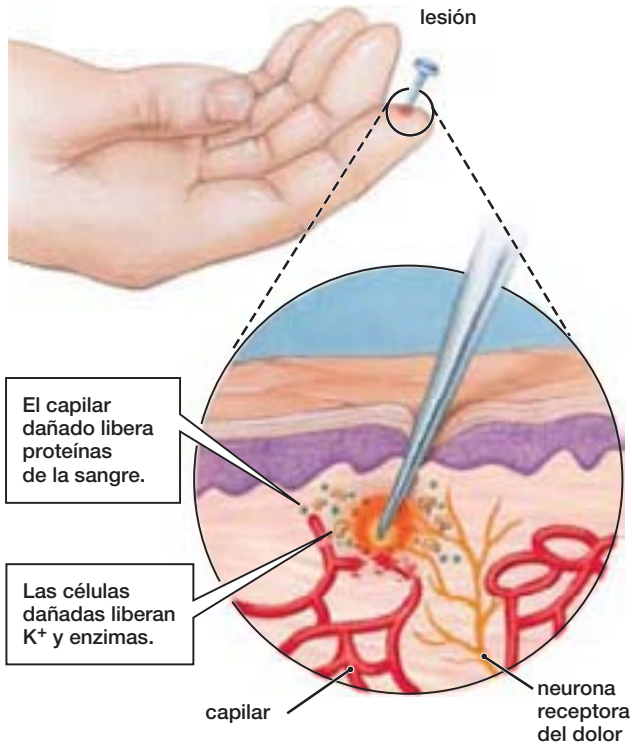

lesión
El capilar dañado libera proteínas de la sangre.
Las células dañadas liberan K^+ y enzimas.
capilar
neurona receptora del dolor

FIGURA 38-28 Percepción del dolor
La percepción del dolor es un sentido químico especializado. Una herida daña tanto a las células como a los vasos sanguíneos. Las células dañadas liberan K^+, el cual activa neuronas receptoras del dolor. Las células dañadas también liberan enzimas que convierten ciertas proteínas de la sangre en bradicinina, que también estimula neuronas sensibles al dolor.

estamos resfriados, los alimentos que normalmente consideramos sabrosos nos parecen insípidos y poco apetitosos, mientras que el café simplemente sabe amargo.

El dolor es un sentido químico especializado

Ya sea que nos quememos, cortemos o aplastemos la punta de un dedo, sentiremos la misma sensación: dolor. Casi todo el dolor se debe a daños en los tejidos. Los investigadores han descubierto que la percepción del dolor en realidad es un tipo especial de sentido químico (FIGURA 38-28).

Cuando una cortada o quemada daña las células y los capilares, su contenido penetra en el líquido extracelular. Ese contenido incluye iones potasio, que estimulan a los **receptores del dolor**

CONEXIONES EVOLUTIVAS

Sentidos poco comunes

Hemos examinado los sentidos "comunes" del oído, la vista, el olfato, el gusto y el dolor. Pero si este libro estuviera enfocado en los murciélagos, sin duda habría incluido una sección importante acerca de la ecolocalización y casi habría omitido la cobertura de la vista. Aquí haremos una reseña de unos cuantos de los sentidos "poco comunes" que la evolución ha producido como respuesta a diferentes entornos.

Ecolocalización

Algunos animales que cazan en la oscuridad o en aguas turbias han desarrollado una especie de sonar llamado **ecolocalización**. Con este sistema, los murciélagos pueden guiarse y cazar insectos en medio de una completa oscuridad. Un murciélago ecolocalizador emite pulsos de sonido a frecuencias ultrasónicas (más altas de las que el oído humano puede detectar), los cuales rebotan en los objetos cercanos. Los patrones de sonido reflejado comunican información precisa acerca del tamaño, la forma, la textura superficial y la ubicación de los objetos en el entorno. Los pequeños murciélagos pardos pueden detectar alambres de apenas 1 milímetro de espesor a una distancia de 2 metros. Varias adaptaciones contribuyen a esta notable sensibilidad. Los enormes pabellones auriculares del murciélago, con sus complejos pliegues, captan los ecos y ayudan al animal a localizar su origen (FIGURA 38-29a). Cuando el murciélago emite su chillido, los músculos conectados a los huesos del oído interno se contraen por un breve lapso; esto reduce las vibraciones de los huesecillos y evita que el animal quede ensordecido por su propio chillido. La membrana timpánica y los huesos del oído medio son excepcionalmente ligeros y los débiles ecos los hacen vibrar fácilmente.

Las marsopas y los delfines producen chasquidos ultrasónicos dentro de sus conductos nasales y los emiten a través de la parte delantera de la cabeza (FIGURA 38-29b). Ahí, una bolsa grande y flexible, llena de aceite, dirige el sonido hacia delante en un haz amplio (para navegar) o estrecho (para localizar presas). Una marsopa puede encontrar por ecolocalización un objeto del tamaño de un chícharo en el fondo de su tanque, y distinguir entre peces de diferentes especies. Las marsopas también pueden usar el haz enfocado para aturdir a los peces con un sonido intenso, lo que facilita su captura.

Detección de campos eléctricos

Algunos peces, llamados peces débilmente eléctricos, utilizan campos eléctricos para la **electrolocalización**, de forma muy parecida a como los murciélagos y las marsopas usan ondas sonoras para la ecolocalización. Esos peces producen señales eléctricas de alta frecuencia con un órgano eléctrico localizado delante de la cola; luego detectan las señales con células electrorreceptoras situadas en ambos costados de su cuerpo (FIGURA 38-30

a)

b)

FIGURA 38-29 Ecolocalización
a) El enorme tamaño y los complejos pliegues de los pabellones auriculares del murciélago de orejas largas le ayudan a localizar el origen de los ecos. ***b)*** La marsopa nariz de botella enfoca chasquidos ultrasónicos empleando la bolsa llena de aceite que tiene en la parte frontal de la cabeza. PREGUNTA: ¿Por qué las marsopas que utilizan la ecolocalización carecen de los grandes oídos externos, los cuales son tan útiles en los murciélagos que también la utilizan?

Detección de campos magnéticos

Las palomas mensajeras son famosas por su capacidad para regresar volando a su hogar, después de que se dejan libres a cierta distancia. Al parecer, esas aves (y otras que migran grandes distancias) pueden volar orientándose por el Sol o, si el cielo está nublado, por el campo magnético. Pueden localizar con precisión su palomar aunque el cielo esté nublado y el terreno tenga pocas características distintivas. Sin embargo, en un experimento, unos investigadores sujetaron un pequeño imán en el lomo de la paloma; el ave logró volver a casa cuando el cielo estaba despejado, pero se perdió cuando estaba nublado. En este último caso, el imán utilizado en el experimento confundió la brújula interna magnética de la paloma. ¿Cómo detectan las palomas los campos magnéticos? Esas aves tienen depósitos de magnetita (un compuesto magnético de hierro) justo abajo del cráneo. Esos depósitos actúan como imán interno que permite distinguir las direcciones.

Las anguilas de la región oriental de Norteamérica y de Europa occidental salen de los arroyos y ríos al Océano Atlántico y migran hasta el Mar de los Sargazos (cerca de las Indias Occidentales) para desovar. Es probable que las anguilas también usen campos magnéticos para orientarse. La corriente del Golfo, que nace en el Golfo de México y fluye por la costa oriental de Estados Unidos siguiendo el campo magnético de la Tierra, genera un campo eléctrico equivalente más o menos al que produciría una batería de 1 volt cuyos polos estuvieran separados por una distancia de más de 7 kilómetros. Los investigadores han descubierto que las anguilas pueden detectar campos eléctricos tan débiles como los que produciría una batería de 1 volt cuyos polos estuvieran separados *más de 5000 kilómetros*. Para una anguila, encontrar la corriente del Golfo de México debe de ser muy fácil.

a)

b)

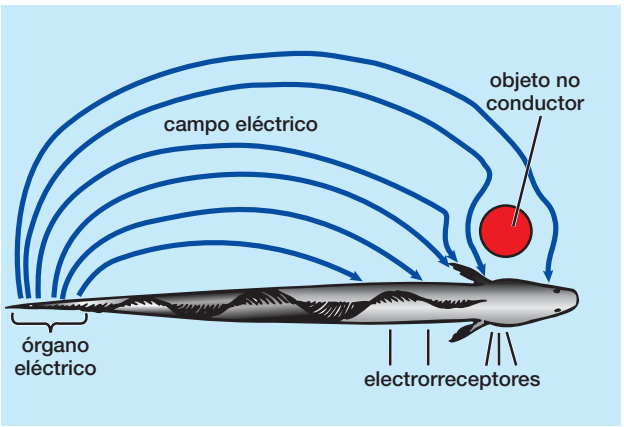


FIGURA 38-30 Electrolocalización
a) Los peces débilmente eléctricos, como el pez nariz de elefante, localizan objetos cercanos detectando las distorsiones que tales objetos producen en el campo eléctrico propio del animal. ***b)*** El campo eléctrico, que rodea ambos lados del cuerpo, se genera con órganos eléctricos cerca de la cola y se detecta con electrorreceptores en los costados del cuerpo.

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO ¿CÓMO TE AMO?

"…el cielo está ahí,
donde vive Julieta".

—*Romeo y Julieta*, acto III, escena III

¿Qué sucede en nuestro cerebro cuando nos enamoramos? Aunque las personas no son ratones de la pradera, quizá te sientas sorprendido —y tal vez decepcionado— al saber que existen algunas notables similitudes tanto en el funcionamiento del cerebro como en las hormonas durante los encuentros emocionales en ambas especies. Por ejemplo, áreas del cerebro humano que contienen oxitocina y dopamina responden a imágenes del rostro de la persona amada y de los hijos, pero no a los rostros de personas igualmente atractivas y conocidas con las que el observador no tienen ningún vínculo emocional. Algunas de estas áreas son las mismas que se activan en los ratones de la pradera y que parecen ser importantes en la motivación y la recompensa. En los humanos, al igual que en los ratones de la pradera, la oxitocina probablemente desempeña un papel importante en la atracción y el compromiso. La oxitocina reduce el estrés e inhibe la amígdala, la parte del cerebro implicada en los sentimientos de temor. En un estudio reciente se encontró que la oxitocina promueve la confianza, incluso entre completos extraños. Por último, los niveles de oxitocina aumentan tanto en hombres como en mujeres durante los encuentros sexuales.

¿Y qué sucede con los distintos tipos de amor? Las exploraciones del cerebro revelan similitudes y diferencias entre el amor romántico y el amor filial. Algunas de las mismas áreas del cerebro se activan al observar fotografías de las parejas románticas y de los hijos; otras áreas se activan al observar unas u otras, pero no ambas. Además, otras áreas cerebrales, particularmente aquellas implicadas en la toma de decisiones críticas y juicios sociales, "se apagan" cuando se observa al ser amado o a un hijo. El resultado es que la pareja romántica y los hijos casi siempre parecen mejores de lo que son en realidad. Esto es especialmente importante para el amor de los recién nacidos hacia los padres. Aunque a menudo son primorosos, los recién nacidos difícilmente manifiestan un amor recíproco de la manera como los adultos son capaces.

¿Acaso las explicaciones neurobiológicas logran arruinar la magia del amor? La antropóloga Helen Fisher, quien probablemente es la investigadora que más ha estudiado la naturaleza del amor, no lo piensa así. "Aunque uno conozca todos los ingredientes en un trozo de pastel de chocolate, …éste sigue siendo extraordinario. De la misma forma, aun cuando conozcamos todos los ingredientes del amor romántico, podemos seguir sintiendo esa pasión".

Piensa en esto En cierto sentido, el amor se parece a una adicción. Por ejemplo, ambos activan los "circuitos de recompensa" en el cerebro, los cuales liberan dopamina. La doctora Fisher hace notar que el amor romántico manifiesta tolerancia, síntomas de abstinencia y fases de reincidencia. Tanto en el caso de las drogas como en el del amor recién descubierto, pequeñas dosis despiertan interés, pero pronto dejan de ser suficientes: necesitamos más y más para satisfacer nuestros deseos. Si no obtenemos nuestra "cuota" de amor o de droga, experimentamos una crisis de abstinencia, que se caracteriza por llanto, depresión y búsqueda desesperada de una nueva "dosis". Finalmente, se presenta una reincidencia. Así como los drogadictos rehabilitados experimentan un deseo súbito y urgente si están en contacto de nuevo con la droga, la gente que terminó una relación amorosa en ocasiones experimenta un resurgimiento de la emoción si ve otra vez a su ex pareja sentimental. Pero, ¿el amor realmente se parece a una adicción? ¿O existe otra explicación? Es poco probable que los humanos hayan desarrollado centros de recompensa y neuronas de dopamina para poder volverse adictos a la cocaína. Más bien, esos circuitos probablemente evolucionaron para promover el sexo, la formación de parejas y el cuidado de los hijos, mientras que las drogas (como la cocaína) son adictivas porque activan químicamente esos mismos circuitos.

REPASO DEL CAPÍTULO

RESUMEN DE CONCEPTOS CLAVE

38.1 ¿Qué estructura y funciones tienen las neuronas?

Los sistemas nerviosos se componen de células individuales llamadas neuronas. Una neurona tiene cuatro funciones principales especializadas, que se reflejan en su estructura. Las dendritas reciben información del entorno o de otras neuronas. El cuerpo celular suma las señales eléctricas de las dendritas y de las sinapsis que están en el cuerpo celular mismo y "decide" si debe producir o no un potencial de acción. El cuerpo celular también coordina las actividades metabólicas de la célula. El axón conduce el potencial de acción a su terminal de salida, la sinapsis. Las terminales sinápticas transmiten la señal a otras células nerviosas, a glándulas o a músculos.

38.2 ¿Cómo se genera y se transmite la actividad neuronal?

Las sinapsis, que son el punto de comunicación entre dos neuronas, consisten en la terminal sináptica de la neurona presináptica, una región especializada de la neurona postsináptica y el pequeño espacio entre ellas. Neurotransmisores de la neurona presináptica, que se liberan como respuesta a un potencial de acción, se unen a receptores de la membrana plasmática de la célula postsináptica y generan PPSI y PPSE.

Existen muchos neurotransmisores, los cuales se están estudiando intensivamente para explorar sus diversos papeles en las enfermedades neurológicas, la drogadicción y todos los aspectos del funcionamiento normal del sistema nervioso.

Web tutorial 38.1 Señales eléctricas en las neuronas

Web tutorial 38.2 La sinapsis

38.3 ¿Cómo se organizan los sistemas nerviosos?

El procesamiento de la información en el sistema nervioso requiere cuatro operaciones. El sistema nervioso debe: **1.** determinar el tipo de estímulo, **2.** indicar la intensidad del estímulo, **3.** integrar información de muchas fuentes, y **4.** iniciar y dirigir la respuesta. El sistema nervioso reúne y procesa información sensorial de muchas fuentes.

Los caminos neuronales por lo regular tienen cuatro elementos: **1.** neuronas sensoriales, **2.** interneuronas, **3.**

merosos caminos neuronales interconectados, los cuales podrían ser difusos o estar centralizados.

Web tutorial 38.3 Arcos reflejos

38.4 ¿Cuál es la estructura del sistema nervioso humano?

El sistema nervioso del ser humano y de otros vertebrados consiste en el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico. El sistema nervioso periférico se divide en dos porciones: sensorial y motriz. Las porciones motrices consisten en el sistema nervioso somático (que controla los movimientos voluntarios) y el sistema nervioso autónomo (que dirige las respuestas involuntarias).

Dentro del sistema nervioso central, la médula espinal contiene: neuronas que controlan músculos voluntarios y el sistema nervioso autónomo; neuronas que se comunican con el encéfalo y con otras partes de la médula espinal; axones que van al encéfalo y vienen de él; y caminos neuronales para reflejos y ciertos comportamientos simples. El encéfalo consta de tres partes: rombencéfalo, mesencéfalo y prosencéfalo, cada una de las cuales se subdivide en regiones bien definidas.

El rombencéfalo humano consta del bulbo raquídeo o médula oblonga y el puente de Varolio, que controlan funciones involuntarias (como la respiración), y el cerebelo, que coordina actividades motrices complejas (como escribir en computadora). En el ser humano, el mesencéfalo es pequeño y contiene la formación reticular: un filtro y retransmisor de estímulos sensoriales. El prosencéfalo incluye: el tálamo, una estación de retransmisión sensorial que distribuye información a los centros conscientes del prosencéfalo y recibe información de ellos; el sistema límbico, un conjunto diverso de estructuras que intervienen en las emociones, el aprendizaje y el control de conductas instintivas como la actividad sexual, la alimentación y la agresión; y la corteza cerebral, el centro del procesamiento de la información, la memoria y la iniciación de acciones voluntarias. La corteza cerebral incluye áreas sensoriales y motrices primarias, así como áreas de asociación que analizan la información sensorial y planean los movimientos.

38.5 ¿Cómo produce el encéfalo la mente?

Los hemisferios cerebrales están especializados. En general, el hemisferio izquierdo domina el habla, la lectura, la escritura, la comprensión del lenguaje, la capacidad matemática y la resolución de problemas por lógica. El hemisferio derecho se especializa en reconocer rostros y relaciones espaciales, desarrollar capacidades artísticas y musicales, así como en reconocer y expresar emociones.

La memoria adopta dos formas: memoria a corto plazo, que es eléctrica o química, y memoria a largo plazo, que probablemente implica cambios estructurales que aumentan la eficacia o el número de las sinapsis. El hipocampo es un importante sitio de aprendizaje y de transferencia de información de la memoria a corto plazo a la de largo plazo. Los lóbulos temporales también son importantes para la memoria, el reconocimiento de objetos y rostros, así como para la comprensión del lenguaje.

Web tutorial 38.4 El cerebro humano

38.6 ¿Cómo funcionan los receptores sensoriales?

Los receptores convierten un estímulo del ambiente interno o externo en señales eléctricas llamadas potenciales de receptor. Ya sea de forma directa o indirecta, los potenciales de receptor dan por resultado potenciales de acción en axones específicos que se conectan con las regiones apropiadas del cerebro. Las células receptoras se nombran según el estímulo al que responden.

38.7 ¿Cómo se detectan los estímulos mecánicos?

Una variedad de mecanorreceptores detectan estímulos como el contacto, la vibración, la presión, el estiramiento o el sonido. En la mayoría de los casos, un mecanorreceptor produce un potencial de receptor en respuesta a la deformación o el estiramiento de su membrana plasmática.

38.8 ¿Cómo se detecta el sonido?

En el oído de los vertebrados, el aire hace vibrar a la membrana timpánica, que transmite las vibraciones a los huesecillos del oído medio y de ahí a la ventana oval de la cóclea llena de líquido. Dentro de la cóclea, las vibraciones doblan los pelos de las células pilosas, que son receptores situados entre la membrana basilar y la tectorial. Esta flexión produce potenciales de receptor en las células pilosas que generan potenciales de acción en los axones del nervio auditivo, el cual conduce al encéfalo.

Web tutorial 38.5 El oído humano

38.9 ¿Cómo se detecta la luz?

En el ojo de los vertebrados, la luz entra por la córnea y pasa por la pupila para llegar al cristalino, el cual enfoca la imagen en la fóvea de la retina. En las profundidades de la retina se encuentran dos tipos de fotorreceptores, bastones y conos, que producen potenciales de receptor como respuesta a la luz. Estas señales se procesan en varias capas de neuronas de la retina y se traducen a potenciales de acción en el nervio óptico, que conduce al encéfalo. Los bastones son más abundantes y más sensibles a la luz que los conos y permiten ver con luz tenue. Los conos, que están concentrados en la fóvea, permiten distinguir los colores.

Web tutorial 38.6 El ojo humano

38.10 ¿Cómo se detectan las sustancias químicas?

Los vertebrados terrestres detectan sustancias del entorno exterior ya sea por el olfato o por el gusto. Cada tipo de célula receptora olfatoria o del gusto responde a un tipo de moléculas, o a unos cuantos tipos específicos, lo que permite distinguir entre los diversos sabores y olores. Las neuronas olfatorias de los vertebrados están situadas en un tejido que reviste las fosas nasales. Los receptores del gusto se encuentran en cúmulos, llamados papilas gustativas, en la lengua. El dolor es un tipo especial de sentido químico en el que neuronas sensoriales responden a sustancias liberadas por células dañadas.

TÉRMINOS CLAVE

amígdala *pág. 776*
axón *pág. 762*
bastón *pág. 787*
bulbo raquídeo *pág. 775*
canal auditivo *pág. 782*
célula ganglionar *pág. 787*
célula pilosa *pág. 784*
cerebelo *pág. 775*
cerebro *pág. 775*
cóclea *pág. 784*
cono *pág. 787*
córnea *pág. 785*
coroides *pág. 785*
corteza cerebral *pág. 777*
cristalino *pág. 785*
cuerpo calloso *pág. 777*
cuerpo celular *pág. 762*
división parasimpática *pág. 771*
división simpática *pág. 771*
ecolocalización *pág. 790*
efector *pág. 770*
electrolocalización *pág. 790*
encéfalo *pág. 770*
esclerótica *pág. 785*
formación reticular *pág. 775*
fóvea *pág. 787*
ganglio *pág. 770*
ganglio de la raíz dorsal *pág. 774*
gusto *pág. 788*
hemisferio cerebral *pág. 777*
hipermetropía *pág. 787*
hipocampo *pág. 776*
hipotálamo *pág. 776*

humor vítreo *pág. 785*
intensidad *pág. 768*
interneurona *pág. 770*
iris *pág. 785*
materia blanca *pág. 773*
materia gris *pág. 773*
médula espinal *pág. 770*
membrana basilar *pág. 784*
membrana tectorial *pág. 784*
membrana timpánica *pág. 782*
memoria a corto plazo *pág. 778*
memoria a largo plazo *pág. 778*
memoria de trabajo *pág. 778*
mesencéfalo *pág. 774*
mielina *pág. 763*
miopía *pág. 787*
nervio *pág. 762*
nervio óptico *pág. 787*
nervio periférico *pág. 771*
neurona *pág. 762*
neurona motriz *pág. 770*
neurona postsináptica *pág. 764*
neurona presináptica *pág. 764*
neurona sensorial *pág. 770*
neurotransmisor *pág. 762*
oído externo *pág. 782*
oído interno *pág. 784*
oído medio *pág. 782*
ojo compuesto *pág. 785*
olfato *pág. 788*
omatidia *pág. 785*
pabellón auricular *pág. 782*
papila gustativa *pág. 789*
potencial de acción *pág. 762*
potencial de receptor *pág. 781*
potencial de reposo *pág. 763*
potencial postsináptico (PPS) *pág. 764*
potencial postsináptico de excitación (PPSE) *pág. 764*
potencial postsináptico de inhibición (PPSI) *pág. 764*
prosencéfalo *pág. 774*
puente de Varolio *pág. 775*
punto ciego *pág. 787*
pupila *pág. 785*
receptor *pág. 781*
receptor del dolor *pág. 790*
receptor sensorial *pág. 781*
red nerviosa *pág. 770*
reflejo *pág. 770*
retina *pág. 785*
rombencéfalo *pág. 774*
sinapsis *pág. 762*
sistema límbico *pág. 776*
sistema nervioso autónomo *pág. 771*
sistema nervioso central (SNC) *pág. 770*
sistema nervioso periférico (SNP) *pág. 770*
sistema nervioso somático *pág. 771*
tálamo *pág. 776*
terminal sináptica *pág. 762*
tímpano *pág. 782*
tubo auditivo *pág. 782*
umbral *pág. 763*
visión binocular *pág. 788*

RAZONAMIENTO DE CONCEPTOS

Menciona cuatro partes principales de una neurona y explica la función especializada de cada una.

Dibuja un diagrama de una sinapsis. ¿Cómo se transmiten señales de una neurona a otra en una sinapsis?

¿Cómo percibe el encéfalo la intensidad de un estímulo? ¿Y el tipo de estímulo?

Cita los cuatro elementos de un camino nervioso simple. Describe cómo funcionan esos elementos en el reflejo humano de evitación del dolor.

Dibuja un corte transversal de la médula espinal. ¿Qué tipos de neuronas hay en la médula espinal? Explica por qué si se cercena la médula, el cuerpo queda paralizado abajo del nivel donde se corta.

Describe las funciones de las siguientes partes del encéfalo humano: bulbo raquídeo, cerebelo, formación reticular, tálamo, sistema límbico y cerebro.

¿Qué estructura conecta a los dos hemisferios cerebrales? Describe los indicios de que cada hemisferio se especializa en funciones intelectuales distintas.

Distingue entre la memoria a largo plazo y la memoria de trabajo.

¿Qué nombre reciben los receptores específicos del gusto, la vista, el oído, el olfato y el tacto?

10. ¿Por qué parece como si pudiéramos distinguir cientos de sabores distintos si sólo tenemos cinco tipos de receptores del gusto? ¿Cómo podemos distinguir tantos olores diferentes?

11. Describe la estructura y función de las diversas partes del oído humano siguiendo una onda sonora desde el aire afuera de la oreja hasta las células receptoras.

12. ¿Cómo hace posible la estructura del oído interno la percepción de tonos? ¿De la intensidad del sonido?

13. Elabora un diagrama de la estructura general del ojo humano. Rotula la córnea, el iris, el cristalino, la esclerótica, la retina y la coroides. Describe la función de cada estructura.

14. ¿Cómo cambia de forma el cristalino para enfocar objetos distantes? ¿Qué defecto impide enfocar objetos distantes, y qué nombre recibe esa condición? ¿Qué tipo de lente puede corregirla y cómo lo hace?

15. Elabora una lista de las similitudes y diferencias entre los bastones y los conos.

16. Distingue entre gusto y olfato.

17. Describe cómo los daños a los tejidos generan señales de dolor.

APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. En el mal de Parkinson, que afecta a varios millones de personas, las células que producen el neurotransmisor dopamina degeneran en una parte pequeña del cerebro que es importante para controlar los movimientos. Algunos médicos han informado de mejoras después de inyectar células tomadas de la misma región general del cerebro de un feto abortado en partes apropiadas del cerebro de un paciente con mal de Parkinson. Comenta este tipo de tratamiento desde el mayor número posible de puntos de vista: ético, financiero, práctico, etcétera. Con base en tus respuestas, ¿la cirugía de trasplante fetal es la respuesta para curar el mal de Parkinson?
2. Si los axones de las neuronas de la médula espinal humana no estuvieran mielinizados, ¿la médula sería más grande o más pequeña? ¿Nos moveríamos con mayor o menor rapidez? Explica tu respuesta.
3. ¿Cuál es el valor adaptativo de los reflejos? ¿Por qué no todos los comportamientos podrían controlarse mediante reflejos?
4. Explica la afirmación: "Nuestras percepciones sensoriales son exclusivamente creaciones de nuestro encéfalo." Comenta las implicaciones para comunicarse con otras personas, con otros animales y con seres inteligentes de otro universo.

PARA MAYOR INFORMACIÓN

Anderson, A. y Middleton, L. "What Is This Thing Called Love?" *New Scientist*, 26 de abril de 2006. Una amena explicación de la historia natural, la bioquímica y los mecanismos cerebrales del amor.

Axel, R. "The Molecular Logia of Smell". *Scientific American*, octubre de 1995. Describe la investigación que descubre algunos de los mecanismos por los que la nariz y el cerebro descifran los olores.

Beardsley, T. "The Machinery of Thought". *Scientific American*, agosto de 1997. Empleando PET y fMRI en monos y en seres humanos, los investigadores están aprendiendo más acerca de dónde reside la memoria de trabajo.

Bower, B. "Creatures in the Brain", *Science News*, 13 de abril de 1996. Mediante técnicas de imágenes, los científicos han descubierto las claves acerca de cómo diferentes regiones del cerebro están especializadas para distintos conceptos.

Damasio, A. R. "How the Brain Creates the Mind". *Scientific American*, diciembre de 1999. El autor presenta una hipótesis intrigante sobre cómo surge el sentido del yo de la maquinaria del cerebro.

Gazzaniga, M. S. "The Split Brain Revisited". *Scientific American*, julio de 1998. Una explicación de las especializaciones hemisféricas por uno de los pioneros en el estudio del cerebro humano.

Goldsmith, T. H. "What Birds See". *Scientific American*, julio de 2006. Una descripción maravillosamente clara de la visión del color en aves y mamíferos.

Philips, H. "Just Can't Get Enough". *New Scientist*, 26 de agosto de 2006. Deseos intensos por sexo, juego, videojuegos y drogas podrían estar basados en la activación del sistema de recompensa de dopamina en el cerebro.

Raichle, M. E. "Visualizing the Mind". *Scientific American*, abril de 1994. Las técnicas de imágenes del cerebro abren parcialmente la "caja negra" de la mente.

Smith, D. V. y Margolskee, R. F. "Making Sense of Taste". *Scientific American*, marzo de 2001. Los científicos están comenzando a desentrañar los mecanismos por los que los receptores del gusto responden a varios sabores.

Wuethrich, B. "Getting Stupid". *Discover*, marzo de 2001. Beber alcohol en exceso daña el cerebro, especialmente el de los jóvenes.

CAPÍTULO 39

Acción y sostén: Los músculos y el esqueleto

La astronauta Millie Hughes-Fulford flota en el ambiente de ingravidez del módulo de las ciencias de la vida en el transbordador espacial *Columbia* durante una misión en 1991. Esta nave se perdió en la trágica explosión ocurrida el 1° de febrero de 2003.

DE UN VISTAZO

ESTUDIO DE CASO: Riesgos ocultos de los viajes espaciales

39.1 Una introducción a los sistemas muscular y esquelético

39.2 ¿Cómo trabajan los músculos?

La estructura y la función de las células de los músculos esqueléticos están íntimamente relacionadas

Las contracciones musculares son el resultado del deslizamiento de los filamentos gruesos y delgados

El músculo cardiaco acciona al corazón

El músculo liso produce contracciones lentas e involuntarias

39.3 ¿Qué función desempeña el esqueleto?

Entre los animales hay tres tipos de esqueletos

El esqueleto de los vertebrados desempeña muchas funciones

39.4 ¿Qué tejidos forman el esqueleto de los vertebrados?

El cartílago proporciona un sostén flexible y conexiones

El hueso brinda al cuerpo un armazón rígido y resistente

La remodelación ósea permite la reparación del esqueleto y su adaptación a las tensiones

Guardián de la salud: Cómo se repara un hueso fracturado

39.5 ¿Cómo se mueve el cuerpo?

Los músculos mueven al esqueleto en torno a articulaciones flexibles

Guardián de la salud: Osteoporosis: Cuando los huesos se vuelven quebradizos

Enlaces con la vida: Caminar con un perro

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO
Riesgos ocultos de los viajes espaciales

ESTUDIO DE CASO RIESGOS OCULTOS DE LOS VIAJES ESPACIALES

LOS ASTRONAUTAS VIAJAN alrededor de la Tierra mientras viven y trabajan juntos en una de las hazañas más extraordinarias de la humanidad y que demandan la máxima cooperación de todos: la instalación de la Estación Espacial Internacional. Por desgracia, esta experiencia que se presenta una sola vez en la vida no está exenta de riesgos. Además de los peligros inherentes a los viajes espaciales, los astronautas se enfrentan a una amenaza insidiosa: la pérdida de músculo y hueso debido a la ingravidez. Aunque la ingravidez parece ser muy divertida, nuestro organismo no está adaptado a ella. Los seres humanos (y otras especies terrestres) evolucionaron bajo la inexorable atracción de la gravedad, la cual hace que los huesos y músculos se vigoricen diariamente. Los astronautas hacen ejercicios rutinarios para evitar la atrofia muscular, pero la pérdida ósea representa un problema mayor. Las investigaciones han demostrado que los viajeros del espacio pierden del 0.5 al 2 por ciento de su masa ósea total cada mes que permanecen en un estado de ingravidez. Esta pérdida es más pronunciada en los huesos que soportan peso, como los de la parte inferior de la columna vertebral y de las piernas. Al contrario de lo que se cree, los huesos no son simplemente un andamiaje seco para el cuerpo; en realidad, cambian continuamente en respuesta a nuestras exigencias. En un proceso llamado "remodelación", el hueso se engruesa bajo la tensión y se adelgaza una vez que ésta desaparece. ¿Cuándo tiene lugar la remodelación ósea? ¿Cambia a medida que envejecemos? ¿Qué puede hacerse para contrarrestar la pérdida de hueso en el espacio?

39.1 UNA INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS MUSCULAR Y ESQUELÉTICO

El sistema de músculos y huesos que mueven y dan apoyo al cuerpo animal son una maravilla de ingeniería. El vuelo de un murciélago, el salto súbito de un felino, la gracia con que se desliza una bailarina de ballet, al igual que los movimientos que haces cuando caminas hacia el salón de clases, dependen de un humilde pero al mismo tiempo elegante mecanismo. Las células musculares realizan sólo una actividad: ejercen fuerza al contraerse. Sin embargo, bajo la influencia de la selección natural, esta sencilla fuerza unidireccional se aplica al complejo andamiaje óseo que ha sido moldeado en elementos estructurales como alas, manos y aletas, y su acción es coordinada por el sistema nervioso. La capacidad resultante para moverse confiere a los animales la habilidad necesaria para buscar su alimento, localizar nuevos lugares donde vivir, huir del peligro y, en ocasiones, moverse de tal modo que inspiren temor.

Los músculos y el esqueleto también realizan funciones mundanas y al mismo tiempo cruciales. Bombear la sangre a través del sistema circulatorio, impulsar el alimento por el aparato digestivo y respirar son algunos de los procesos esenciales que dependen de la contracción muscular. El esqueleto de los animales terrestres proporciona un armazón contra el cual los músculos ejercen fuerzas para mover el cuerpo (FIGURA 39-1). Casi todos los animales dependen del sostén de un esqueleto, ya sea dentro o fuera del cuerpo, para mantener su forma y proteger los órganos internos. Si no tuviéramos esqueleto, seríamos un montón de tejido trémulo y sin forma.

39.2 ¿CÓMO TRABAJAN LOS MÚSCULOS?

Todo trabajo muscular requiere que los músculos se contraigan y se alarguen de manera alternada, aunque están en actividad sólo durante la contracción. El alargamiento que sigue a la contracción es pasivo, y ocurre cuando los músculos se encuentran relajados y son estirados por otras fuerzas. Un músculo relajado puede estirarse por las contracciones de los músculos opuestos, por el peso de alguna extremidad, o por una fuerza como la presión del alimento que desciende por las paredes musculares del estómago.

Los animales muestran una sorprendente diversidad de funciones musculares, adaptadas a partir de una asombrosa uniformidad de la estructura muscular. Los vertebrados han desarrollado tres tipos de músculos: esqueléticos, cardiacos y lisos. Todos trabajan bajo los mismos principios fundamentales, pero difieren en cuanto a su función, apariencia y control (tabla 39-1). Los músculos de los invertebrados se asemejan

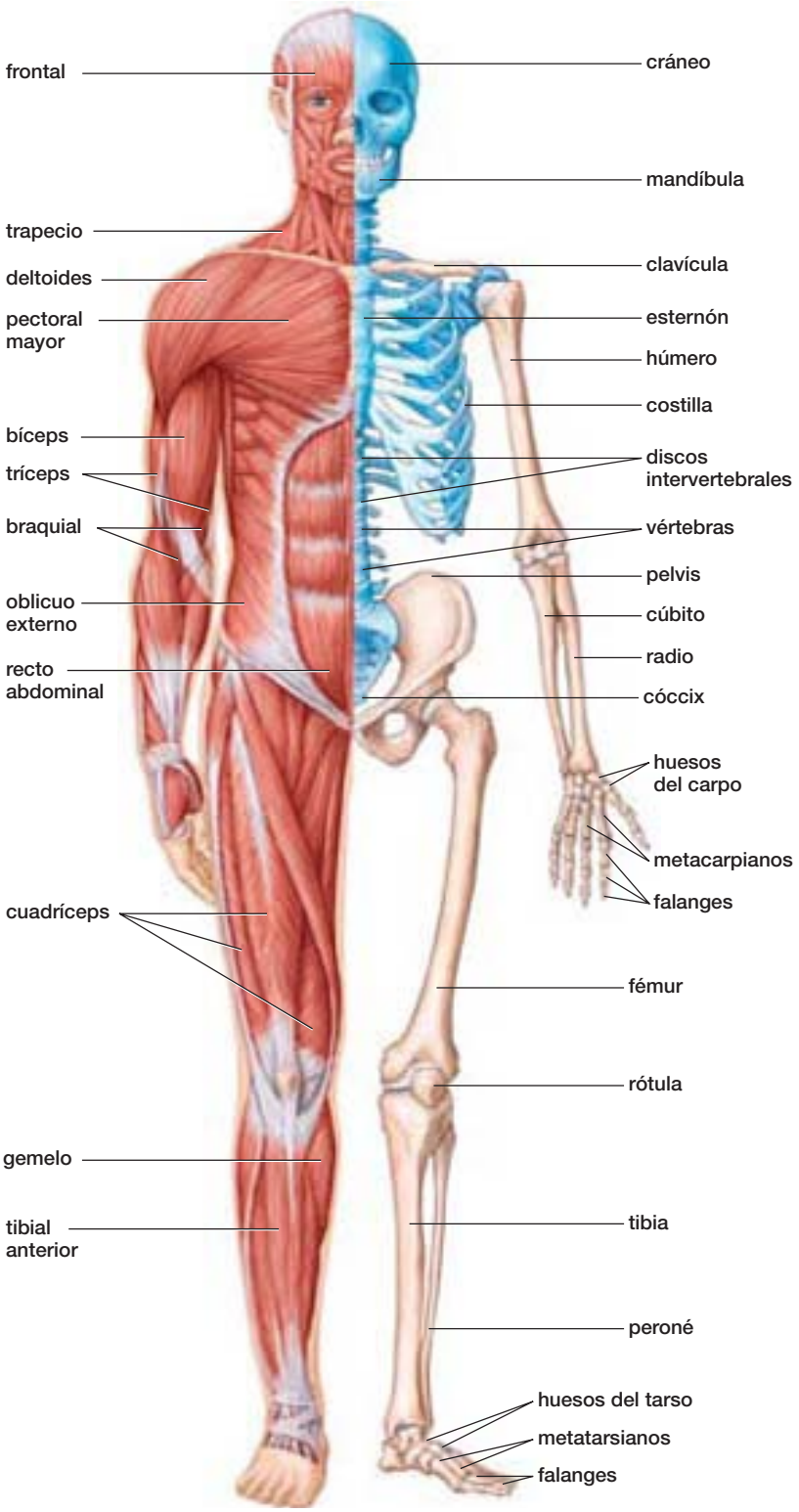


FIGURA 39-1 Sistemas muscular y esquelético
Estos dos sistemas trabajan en armonía para permitir la coordinación de los movimientos. Se muestran algunos de los músculos y huesos principales. El *esqueleto axial*, que forma el eje del cuerpo, se muestra en color azul. El *esqueleto apendicular*

mucho a los de los vertebrados, pero presentan una gama enorme de adaptaciones a sus estilos de vida. Por ejemplo, los moluscos bivalvos (los que tienen dos conchas, como las vieiras y las almejas) poseen un tipo especial de músculo liso que mantiene a las conchas ligeramente cerradas durante varias horas empleando muy poca energía. En contraste con estas contracciones sostenidas, algunas moscas tienen músculos para el vuelo que pueden contraerse 1000 veces por segundo. En las siguientes secciones describiremos los músculos de los vertebrados, tomando como ejemplo el sistema muscular humano.

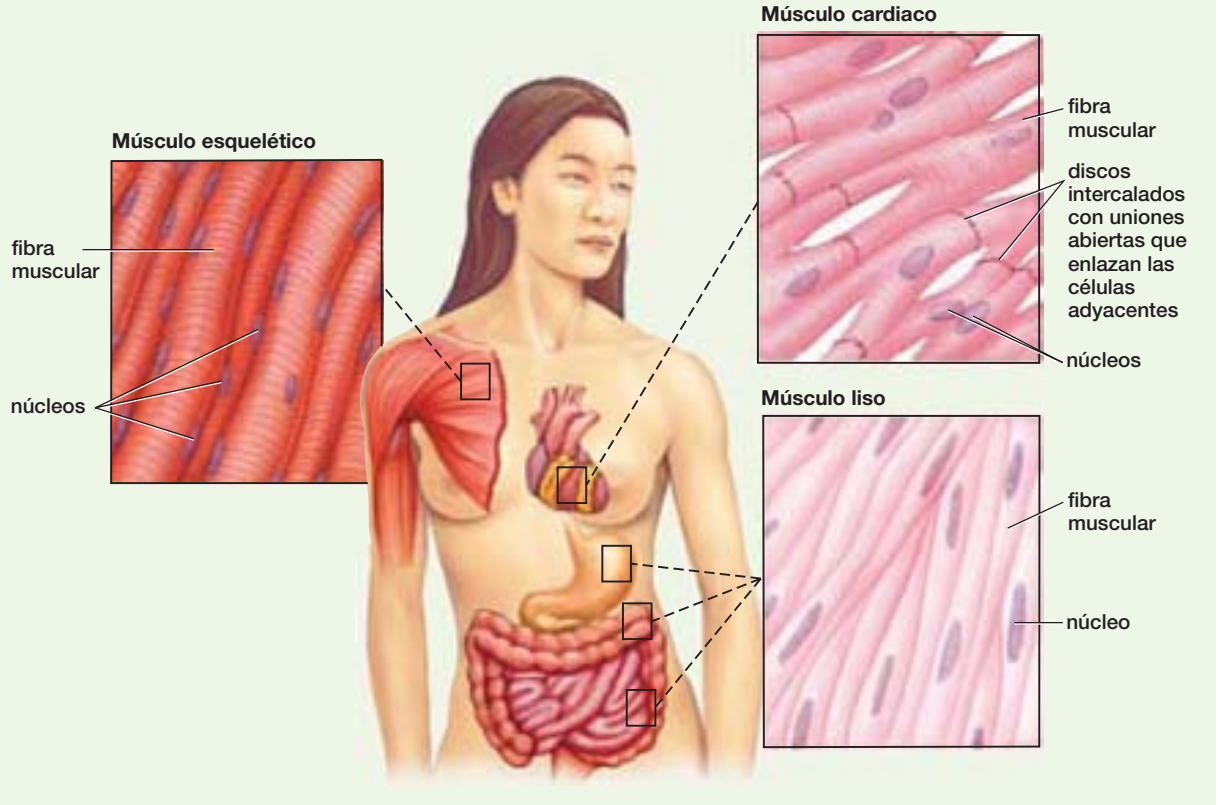
Los **músculos esqueléticos**, que se llaman así porque mueven al esqueleto, se ven con franjas o estrías cuando se observan bajo el microscopio, por lo que a menudo se les conoce como *músculos estriados*. La mayoría de los músculos esqueléticos se controlan de manera voluntaria o consciente. Pueden producir contracciones que van de unas sacudidas rápidas (como en el parpadeo) hasta tensión fuerte y sostenida (como cuando cargas muchos libros de texto). El **músculo cardiaco** se encuentra solamente en el corazón. Es *espontáneamente activo* e *involuntario* (es decir, inicia sus propias contracciones y no está bajo un control consciente), pero se ve influido por nervios y hormonas. Al igual que el músculo esquelético, el músculo cardiaco es estriado. Los **músculos lisos**, como indica su nombre, carecen de estrías como las que presentan otros dos tipos de músculos. El músculo liso reviste a los vasos sanguíneos grandes y a casi todos los órganos huecos, lo que produce contracciones lentas, sostenidas e involuntarias. Los diferentes tipos de músculos se resumen en la tabla 39-1.

El cuerpo humano tiene aproximadamente 650 músculos esqueléticos, que en conjunto forman casi el 40 por ciento del peso de una persona promedio; algunos de estos músculos se ilustran en la figura 39-1. La siguiente explicación hace énfasis en los músculos esqueléticos.

Tabla 39-1 Ubicación, características y funciones de los tres tipos de músculos

Propiedad	Tipo de músculo		
	Liso	Cardiaco	Esquelético
Aspecto del músculo	No estriado	Estriado	Estriado
Forma celular	Fusiformes (con forma de huso)	Cilíndrica ramificada	Cilíndrica
Cantidad de núcleos	Uno por célula	Uno por célula	Muchos por célula
Rapidez de contracción	Lenta	Intermedia	De lenta a rápida
Estímulos de contracción	Espontáneos, estiramiento, sistema nervioso, hormonas	Espontáneos	Sistema nervioso
Función	Controla movimiento de sustancias a través de órganos huecos y tubos	Bombea la sangre	Mueve el esqueleto
¿Bajo control voluntario?	No	No	Sí

Nota: El latido cardiaco puede ser modificado de forma voluntaria después de una capacitación de biorretroalimentación.



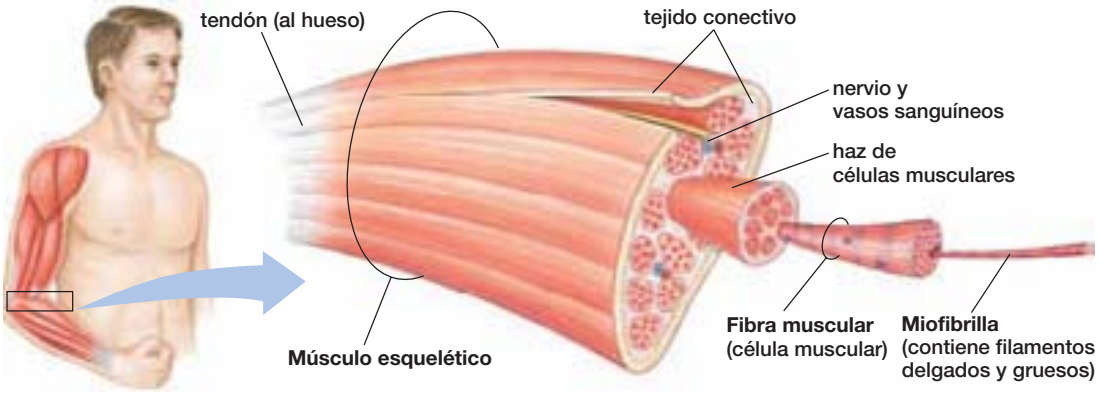


FIGURA 39-2 Estructura del músculo esquelético
Un músculo se encuentra rodeado de tejido conectivo y está sujeto a los huesos por medio de tendones. Contiene desde unas cuantas hasta unas 1000 células musculares llamadas fibras musculares, a menudo agrupadas en haces dentro del músculo. Cada fibra está llena de subunidades cilíndricas llamadas miofibrillas, las cuales están compuestas de filamentos gruesos y delgados de proteína.

La estructura y la función de las células de los músculos esqueléticos están íntimamente relacionadas

En las células eucarióticas, los cambios en su forma, el movimiento de los organelos dentro de ellas y la locomoción dependen de las interacciones entre los microfilamentos de la proteína **actina** y los filamentos de la proteína **miosina**. Para producir este movimiento, la actina y la miosina se deslizan una sobre otra y cambian la forma de la célula. Este antiguo mecanismo evolutivo hace también que se contraigan las células de los músculos de los animales.

Los músculos esqueléticos se unen al esqueleto por medio de resistentes cordones de fibra de tejido conectivo llamados **tendones**

FIGURA 39-2).

Las células musculares individuales, o **fibras musculares**, se encuentran entre las células más grandes del cuerpo humano. Cada fibra muscular mide de 10 a 100 micras de diámetro (un poco más pequeñas que el punto que aparece al final de esta frase), y cada una abarca toda la longitud del músculo, la cual puede llegar a medir 30 cm de largo, como en el caso de los muslos de los seres humanos. Las fibras musculares esqueléticas son inusuales en el sentido de que contienen muchos núcleos ubicados precisamente debajo de la membrana celular externa; las fibras más grandes contienen varios miles de núcleos.

Cada fibra muscular consiste en muchas **miofibrillas**, es decir, cilindros contráctiles compuestos principalmente de actina y miosina, que se extienden de un extremo a otro de la fibra (figura 39-2). Cada miofibrilla está rodeada de **retículo sarcoplásmico**. Al igual que el retículo endoplásmico del cual se deriva, el retículo sarcoplásmico consiste en compartimientos planos encerrados en membranas (FIGURA 39-3a **transversos** o **túbulos T**, que están llenos de líquido extracelular. Los túbulos T forman conexiones estrechas con el retículo sarcoplásmico y envían señales que provocan la liberación de calcio, lo que a la vez permite la contracción muscular, como se explicará más adelante.

Las miofibrillas están compuestas de subunidades llamadas **sarcómeros**, los cuales están alineados de un extremo a otro a lo largo de la miofibrilla, conectados por bandas de proteína fibrosa llamadas **líneas Z** (FIGURA 39-3b). Cada sarcómero contiene un arreglo sumamente preciso de filamentos de actina y miosina. Las moléculas de actina (asociadas con dos proteínas accesorias más pequeñas, *troponina* y *tropomiosina*) forman los **filamentos delgados**, cada uno de los cuales está anclado a una línea Z por un extremo. Suspendidos entre los filamentos delgados se encuentran los **filamentos gruesos**, compuestos de proteínas de miosina. Los filamentos gruesos pueden unirse temporalmente a los filamentos delgados por medio de una serie de proyecciones pequeñas llamadas **puentes cruzados** (FIGURA 39-3c). El arreglo regular de los filamentos gruesos y delgados dentro de cada miofibrilla confiere a la fibra muscular su apariencia estriada.

Las contracciones musculares son el resultado del deslizamiento de los filamentos gruesos y delgados

La estructura molecular y el arreglo de los filamentos gruesos y delgados permite a ambos asirse y deslizarse unos sobre otros, lo que hace que se acorten los sarcómeros y se produzca la contracción muscular. La proteína actina, que compone la mayor parte del filamento delgado, se forma de la doble cadena de subunidades, las cuales se asemejan a un doble cordón retorcido de un collar de perlas. Cada subunidad tiene un sitio de unión para un puente cruzado de miosina. Sin embargo, en una célula de músculo relajado, estos sitios de unión de actina están cubiertos de proteínas accesorias, lo que evita que se adhieran los puentes cruzados (véase la figura 39-3c).

Cuando un músculo se contrae, las proteínas accesorias del filamento delgado se mueven hacia un lado, y dejan al descubierto los sitios de unión sobre la actina. Tan pronto como quedan visibles estos sitios, los puentes cruzados de miosina se enlazan a la actina, uniendo así temporalmente los filamentos gruesos y delgados. Al emplear la energía de la división

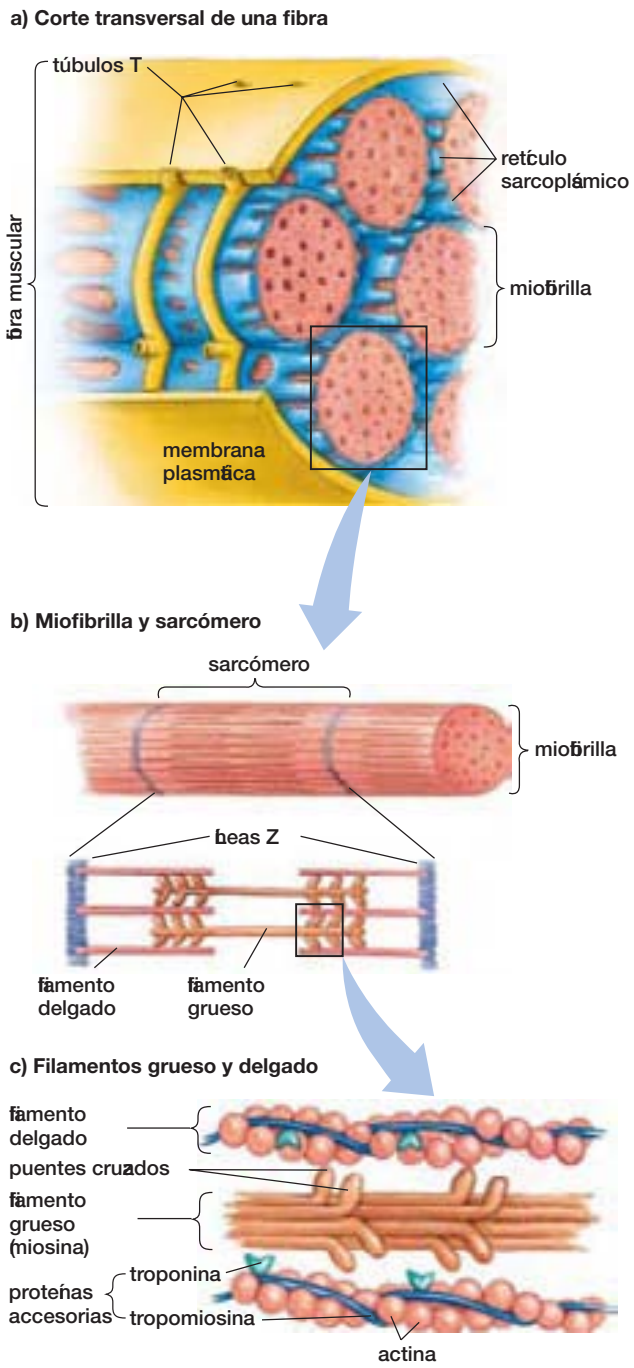


FIGURA 39-3 Fibra muscular esquelética
a) Cada fibra muscular está rodeada de membrana plasmática que penetra al interior, formando túbulos T. El retículo sarcoplásmico rodea a cada miofibrilla dentro de la célula muscular. ***b)*** Cada miofibrilla consiste en una serie de subunidades llamadas sarcómeros, adheridas de extremo a extremo por bandas de proteína llamadas líneas Z. ***c)*** Dentro de cada sarcómero se alternan los filamentos gruesos y delgados, los cuales están conectados temporalmente por los puentes cruzados al contraerse el músculo.

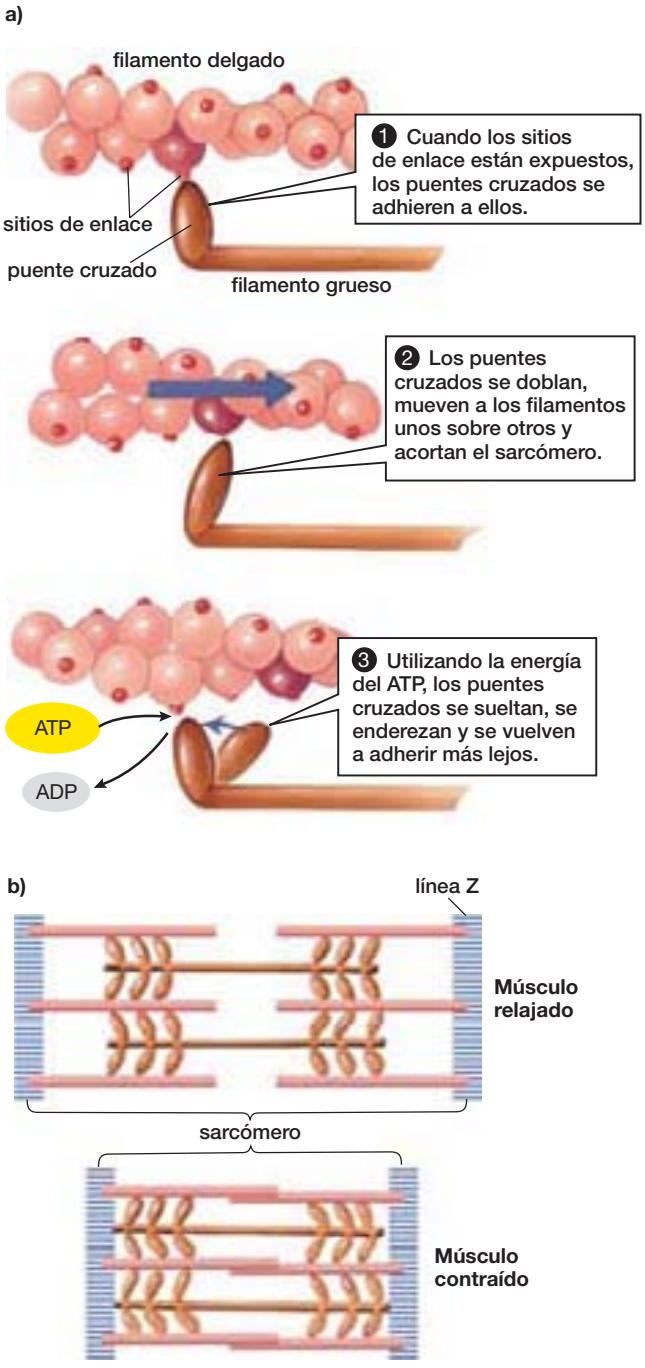

a)
filamento delgado
1 Cuando los sitios de enlace están expuestos, los puentes cruzados se adhieren a ellos.
sitios de enlace
puente cruzado
filamento grueso
2 Los puentes cruzados se doblan, mueven a los filamentos unos sobre otros y acortan el sarcómero.
3 Utilizando la energía del ATP, los puentes cruzados se sueltan, se enderezan y se vuelven a adherir más lejos.
ATP
ADP
b)
línea Z
Músculo relajado
sarcómero
Músculo contraído

FIGURA 39-4 Contracción muscular
a) Los ciclos repetidos de los puentes cruzados, al adherirse, doblarse, soltarse y volverse a adherir, dan como resultado la contracción muscular. ***b)*** La contracción muscular usa el ATP y hace que los filamentos gruesos y delgados se deslicen unos con otros hacia el centro de cada sarcómero, acortando la célula muscular. PREGUNTA: Al acortarse el sarcómero durante la contracción muscular, ¿se acortan los filamentos gruesos? ¿Y los filamentos delgados?

del adenosín trifosfato o trifosfato de adenosina (ATP), los puentes cruzados se enlazan de forma repetida, se liberan y vuelven a enlazarse más adelante a lo largo del filamento delgado, de la misma manera como un marinero tira de la cuerda del ancla poniendo una mano sobre la otra (**FIGURA 39-4a**). La actividad de los puentes cruzados jala a los filamentos delgados más allá de los filamentos gruesos, lo que acorta cada sarcómero y hace que el músculo se contraiga (**FIGURA 39-4b**). Como los filamentos gruesos y delgados se deslizan unos sobre otros durante la contracción muscular, ésta se describe como el *mecanismo de deslizamiento de filamentos.*

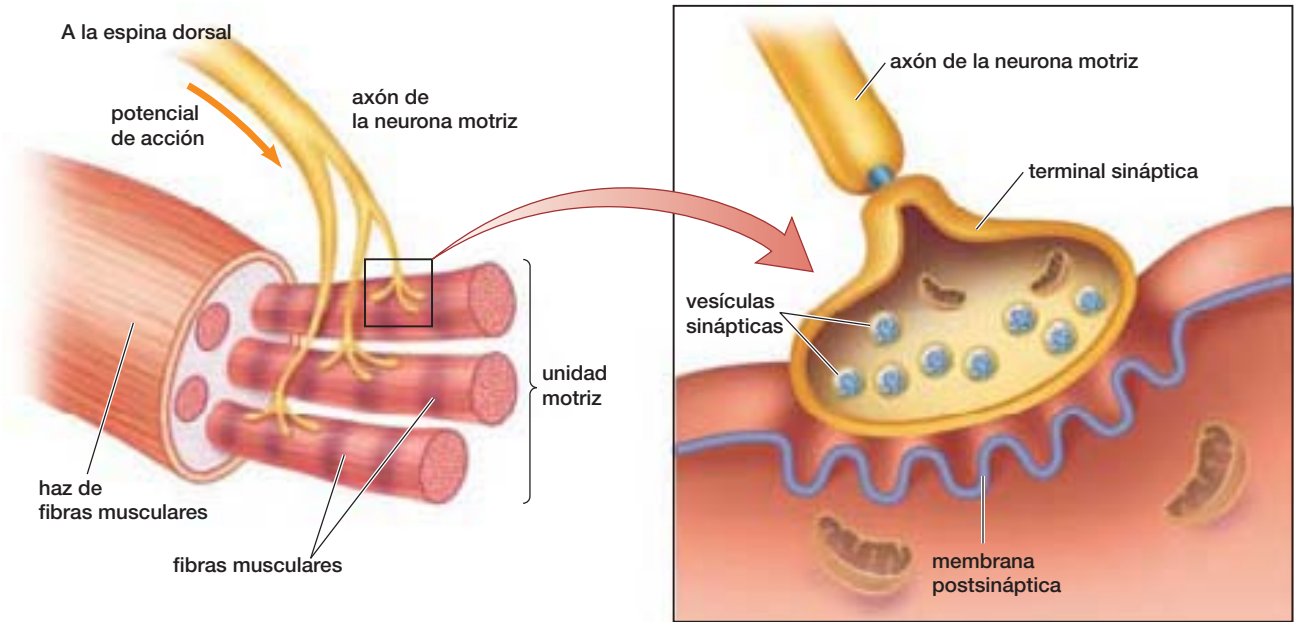


FIGURA 39-5 Una unidad motriz y una unión neuromuscular

Una unidad motriz consiste en una neurona motriz y todas las fibras musculares con las cuales forma sinapsis. Estas fibras se contraen juntas en respuesta a un potencial de acción de la neurona motriz. ***b***) Corte transversal de una unión neuromuscular. Los potenciales de acción de la neurona motriz estimulan la membrana de la fibra muscular, que se pliega debajo de la terminal.

La contracción muscular esquelética está controlada por el sistema nervioso

Las neuronas conocidas como neuronas motrices activan a los músculos esqueléticos en sinapsis especializadas llamadas **uniones neuromusculares** (FIGURA 39-5b), y en todas éstas se utiliza el neurotransmisor *acetilcolina* (descrito en el capítulo 38). El sistema nervioso sólo puede excitar (no inhibir) el músculo esquelético, y cada potencial de acción en cada neurona motriz produce un potencial de acción en una fibra muscular, causando que se acorten todos sus sarcómeros y que se contraiga la fibra. El sistema nervioso controla la fuerza y el grado de la contracción muscular al controlar el número de fibras musculares estimuladas y la frecuencia de los potenciales de acción en cada una. El estímulo rápido y sostenido de las neuronas motrices, que forman sinapsis en todas las fibras de un músculo en particular, ocasiona una contracción máxima sostenida en ese músculo, tal como ocurre cuando cargas varios libros pesados.

La mayoría de las neuronas motrices tienen muchas terminales sinápticas en diferentes fibras musculares; por eso, un solo potencial de acción causará la contracción simultánea de un conglomerado de células musculares. El grupo de fibras con las cuales hace sinapsis una sola neurona motriz se llama **unidad motriz** (FIGURA 39-5a

triz puede causar la contracción de pocas o muchas células musculares, dependiendo del tamaño de la unidad motriz.

La contracción muscular depende de la disponibilidad de los iones calcio y del ATP

Un potencial de acción en la célula muscular penetra en el interior de los túbulos T (véase la figura 39-3a) y abre los canales de calcio en la membrana de retículo sarcoplásmico, lo cual permite liberar los iones calcio del retículo sarcoplásmico donde están almacenados para que fluyan hacia el citosol que rodea a los filamentos gruesos y delgados. Una vez en el citosol, los iones calcio se enlazan con las proteínas accesorias más pequeñas (*troponina*) del filamento delgado, causando que cambien de forma y tiren de las proteínas accesorias más grandes (*tropomiosina*) de los sitios de unión de la miosina. Mientras estos sitios de unión se encuentren expuestos y el ATP esté disponible, los puentes cruzados se unirán, se flexionarán, liberarán y volverán a unirse de forma repetitiva, haciendo que se contraiga la fibra muscular. El ATP imparte potencia al movimiento del puente, lo que es necesario para que la miosina se libere de la actina.

Tan pronto como cesa el potencial de acción, las proteínas de transportación activas de la membrana del retículo sarcoplásmico bombean los iones calcio de regreso al interior del retículo sarcoplásmico. A medida que los iones calcio salen de la troponina, las proteínas accesorias regresan a una configuración que bloquea los sitios de enlace de la miosina; entonces, la fibra muscular se relaja y puede estirarse.

Probablemente has escuchado algo acerca del *rigor mortis*

nes calcio, los puentes cruzados se unen a la actina. Aunque no ocurre ninguna contracción, las hebras de actina y la miosina permanecen entrelazadas con rigidez, porque el ATP resulta necesario para que las hebras se separen una de otra. El rigor mortis desaparece muchas horas después de la muerte a medida que las células musculares comienzan a descomponerse.

Los músculos requieren de un suministro continuo de energía para trabajar

Para que los músculos puedan contraerse, necesitan de un suministro constante de ATP, pero las provisiones de ATP de un músculo esquelético se agotan después de unos cuantos segundos de efectuar ejercicio intenso. Los músculos esqueléticos almacenan también una dotación de fosfato de creatina, una molécula que almacena energía que rápidamente vuelve a sintetizar ATP a partir del ADP, pero éste también se agota de inmediato. En un ejercicio prolongado o de baja intensidad, las células musculares "queman" glucosa y ácidos grasos usando la respiración celular (véase el capítulo 8). El músculo obtiene glucosa, así como ácidos grasos, de la sangre; además, obtiene glucosa adicional al separar el glucógeno (cadenas largas de moléculas de glucosa) almacenado en el músculo. La respiración celular requiere de un suministro continuo de oxígeno; en un animal que hace ejercicio, esto se encuentra limitado por la capacidad del sistema cardiovascular para suministrar oxígeno a los músculos. Así, un corredor de maratón de clasificación mundial puede promediar sólo aproximadamente 16 km/h, porque sus músculos reciben energía en su mayor parte por medio de la respiración celular durante esta competencia de dos horas. En contraste, un campeón de carreras cortas puede mantener una rapidez de casi 35 km/h durante un recorrido de 200 metros que dura aproximadamente 20 segundos. ¿Por qué este último deportista puede correr tan rápido? Durante este breve lapso, en un ejercicio intenso, las células musculares generan ATP por medio de la glucólisis, la cual no requiere oxígeno. La glucólisis produce ATP a partir de la glucosa con mucha rapidez, pero de manera muy ineficaz, y genera ácido láctico como producto. La acumulación de ácido láctico en los músculos contribuye a la sensación de "quemadura" cuando se les somete a un esfuerzo máximo. Cuando el cuerpo descansa después del ejercicio y la respiración profunda restablece los niveles de oxígeno, la mayor parte del ácido láctico es transportado por el torrente sanguíneo hacia el hígado, donde vuelve a sintetizarse en glucosa, parte de la cual se devuelve a los músculos a través de la sangre y se emplea para reabastecer las provisiones de glucógeno.

El músculo esquelético desempeña un papel importante en la capacidad atlética

El antiguo adagio popular de "úsalo o piérdelo" se aplica no sólo al sistema muscular sino también al esquelético, tanto en los viajes espaciales como en la vida cotidiana. Si alguna vez te has fracturado un hueso y te enyesaron un brazo o una pierna, por experiencia sabes que los músculos que no se utilizan pierden masa con el tiempo. La ingravidez en los vuelos espaciales y la inactividad muscular —como ocurre cuando se pasa mucho tiempo en cama por alguna razón— reducen la necesidad del cuerpo de luchar contra la fuerza de gravedad, lo cual afecta a los músculos. La gente que sufre de alguna lesión en la espina dorsal, que impide que las señales lleguen a los músculos, puede prevenir la atrofia y la muerte eventual de las fibras musculares empleando electrodos para estimular las neuronas motrices o los músculos mismos y hacer que éstos se contraigan sin recibir órdenes del cerebro. Tales dispositivos, los cuales producen estímulos debidamente sincronizados, han permitido a algunos pacientes —cuyas piernas están paralizadas— ponerse de pie y caminar distancias cortas usando una andadera.

Los genes influyen en la composición muscular

La próxima vez que asistas a una competencia de pista y campo, compara las piernas de los atletas que corren distancias largas con las de quienes corren distancias cortas. Aunque los corredores de distancias cortas tienen músculos más grandes en las pantorrillas, los maratonistas tienen mayor resistencia. ¿Por qué? Porque las fibras musculares esqueléticas son de dos tipos básicos: de *contracción rápida* y de *contracción lenta*. Estas últimas se contraen lentamente, presentan abundantes mitocondrias (donde tiene lugar la respiración celular) y bastante suministro de sangre que proporciona oxígeno. Las fibras de contracción lenta también contienen mioglobina, un compuesto que almacena oxígeno, parecido a la hemoglobina que transporta el oxígeno en la sangre. Por otra parte, las fibras de contracción rápida se contraen con mayor rapidez y fuerza. Como cuentan con un menor suministro de sangre y menos mitocondrias, están mejor adaptadas para la glucólisis, la cual no requiere oxígeno y suministra ATP con mayor rapidez que la respiración celular. Mientras que un adulto promedio tiene cantidades casi iguales de estos dos tipos de fibras, los velocistas campeones poseen aproximadamente un 80 por ciento de fibras de contracción rápida, lo que les permite desarrollar una velocidad increíble en un breve lapso. En contraste, los maratonistas de clasificación mundial tienen aproximadamente un 80 por ciento de fibras de contracción lenta, las cuales pueden contraerse durante horas antes de agotar la energía suministrada por la respiración celular.

¿Los maratonistas y los velocistas nacen o se forjan por medio de la práctica? Las proporciones de las fibras de contracción rápida y de contracción lenta varían considerablemente dentro de la población humana. Los atletas con una elevada proporción de fibras de contracción lenta tienen mayor probabilidad de destacar en los deportes que exigen resistencia, mientras que quienes tienen fibras de contracción rápida se desempeñarán mejor en los deportes que demandan velocidad. Los investigadores han encontrado que el entrenamiento intensivo puede convertir algunas fibras de contracción lenta en fibras de contracción rápida, pero no a la inversa. El entrenamiento en el levantamiento de pesas, el cual imparte volumen a las fibras existentes de contracción rápida, cambia las masas relativas (pero no las cantidades) de los diferentes

tipos de fibras y puede ayudar a destacar en un deporte que exija intensa actividad.

La terapia génica puede ayudar a los músculos enfermos, pero crea dilemas en los deportes

Los investigadores han descubierto muchos genes que codifican los mensajeros químicos que influyen en la capacidad de los músculos para crecer y reparase por sí solos. Cuando la gente y los animales experimentan una prolongada inactividad o la ingravidez del espacio exterior, los músculos sufren una *atrofia por desuso* en la cual los mecanismos del crecimiento normal y de reparación parecen desconectarse por un proceso desconocido. Durante el envejecimiento, la reparación muscular se vuelve menos eficiente. Para contrarrestar esto y ayudar a la gente que padece de enfermedades que destruyen los músculos como la *distrofia muscular*, los científicos utilizan la ingeniería genética. Han introducido en ratones ciertos genes sintéticos que producen el factor de crecimiento muscular *IGF-I* (*factor de crecimiento tipo insulina I*). Los músculos de los ratones sometidos a estos procedimientos de ingeniería genética crecieron y resultaron más capaces de reparar algún daño y de resistir los efectos debilitantes del envejecimiento en comparación con los músculos de los ratones normales. Los investigadores ahora están ampliando sus estudios en perros con distrofia muscular, con la esperanza de descubrir algún tratamiento que pueda aplicarse en los seres humanos.

Mientras tanto, los atletas y entrenadores deshonestos esperan con ansiedad esta tecnología como un recurso para obtener medallas, fama y fortuna. La Agencia Mundial Antidopaje (un grupo internacional que vigila que los atletas no recurran a los fármacos prohibidos para aumentar su rendimiento) pidió a los científicos que desarrollen análisis para detectar el uso ilegal de genes.

El músculo cardiaco acciona al corazón

El músculo cardiaco —a semejanza de los músculos esqueléticos— presenta estrías a causa de su disposición regular de sarcómeros con sus filamentos gruesos y delgados alternados (véase la tabla 39-1). Las fibras del músculo cardiaco son más pequeñas que la mayoría de las células musculares esqueléticas y poseen solamente un núcleo. A diferencia del músculo esquelético, las fibras del músculo cardiaco pueden iniciar sus propias contracciones. Esta capacidad está bastante bien desarrollada en las fibras musculares especializadas del marcapasos del corazón (el *nodo sinoauricular*; véase el capítulo 32). Los potenciales de acción del nodo SA se difunden rápidamente a través de las uniones abiertas que interconectan las fibras musculares cardiacas. Estas uniones abiertas están concentradas en las regiones llamadas *discos intercalados* (véase la tabla 39-1), que también sirven para unir unas con otras las fibras musculares cardiacas adyacentes, lo que evita que las fuerzas de contracción las separen.

El músculo liso produce contracciones lentas e involuntarias

se la tabla 39-1). Al igual que las fibras musculares cardiacas, las fibras del músculo liso están conectadas directamente unas con otras por uniones abiertas, de manera que sus células se contraen en sincronía, y cada una contiene un solo núcleo. La contracción del músculo liso es lenta y sostenida (como la contracción de las arterias que elevan la presión sanguínea durante los esfuerzos) o lenta y ondulatoria (como las ondas peristálticas que mueven el alimento a través del tracto digestivo o que expelen al bebé del útero durante el parto). El músculo liso se estira fácil y extensamente, como se puede observar en la vejiga, el estómago y el útero. La contracción del músculo liso es involuntaria y puede iniciarse por estiramiento, por la acción de hormonas, por señales del sistema nervioso autónomo (véase el capítulo 38), o bien, por alguna combinación de estos estímulos.

39.3 ¿QUÉ FUNCIÓN DESEMPEÑA EL ESQUELETO?

Para la mayoría de la gente, la palabra *esqueleto* evoca la imagen de los huesos humanos. Pero los **esqueletos**, definidos ampliamente como armazones para el cuerpo animal, son diversos y no necesariamente están hechos de hueso.

Entre los animales hay tres tipos de esqueletos

Los esqueletos son de tres formas radicalmente diferentes: *esqueletos hidrostáticos* (hechos de líquido), *exoesqueletos* (en el exterior del animal) y *endoesqueletos* (internos).

Los **esqueletos hidrostáticos** de los gusanos, moluscos (caracoles y sus parientes) y cnidarios (anémonas marinas y sus parientes; FIGURA 39-6) son los más sencillos; consisten en un saco lleno de líquido, el cual no puede comprimirse y brinda un sostén excelente. La anémona puede expeler la mayor parte de su esqueleto hidrostático, retirar sus tentáculos y contraerse hasta formar un bulto pequeño. Como el líquido es amorfo, para controlar la forma de su cuerpo, los animales con esqueletos hidrostáticos dependen de dos capas de músculos, una circular y la otra longitudinal, en la pared corporal. Los movimientos ondulatorios del cuerpo de una lombriz que se introduce en la tierra alternan el adelgazamiento hasta alcanzar el grosor de un cordel (cuando los músculos alrededor del cuerpo se contraen) con el engrosamiento (cuando los músculos a lo largo del cuerpo se contraen); esto muestra un excelente ejemplo de la flexibilidad de los esqueletos hidrostáticos (véase la figura 39-8a, más adelante).

FIGURA 39-6 La anémona sostiene su cuerpo suave por medio de un esqueleto hidrostático

FIGURA 39-7 Un cangrejo muda su exoesqueleto
Los artrópodos, como este cangrejo azul, mudan su exoesqueleto (unas 20 veces durante un lapso de seis años) para poder crecer. En esta fotografía se observa cómo un cangrejo con cuerpo oscuro acaba de despojarse de su exoesqueleto. PREGUNTA: ¿Por qué la mayoría de los exoesqueletos gruesos en forma de armadura se encuentran en los animales que habitan en el agua, mientras que los insectos y arañas que habitan en la tierra tienden a tener exoesqueletos más delgados?

Los **exoesqueletos** (literalmente, "esqueletos externos") encierran el cuerpo de los artrópodos (como las arañas, crustáceos e insectos). Los exoesqueletos varían considerablemente en cuanto a espesor y rigidez, desde la cubierta delgada y flexible de muchos insectos y arañas hasta la "armadura" de muchos crustáceos (FIGURA 39-7).

Las *articulaciones* (uniones movibles entre partes adyacentes) de los exoesqueletos son delgadas y flexibles, lo que permite los movimientos diestros y complejos como los de la araña hiladora. Los exoesqueletos deben mudarse periódicamente para permitir el crecimiento del animal.

Los **endoesqueletos**, los esqueletos internos de los seres humanos y de otros vertebrados, sólo se encuentran en los equinodermos (estrellas de mar y sus parientes) y en los cordados (animales con un notocordio, la mayoría de los cuales son vertebrados). Aunque pensamos que los esqueletos internos son la "norma", en realidad éstos constituyen el tipo menos común de esqueleto en el reino animal.

Independientemente del tipo de esqueleto que poseen, los animales se mueven por medio de las contracciones de los **músculos antagónicos**, es decir, músculos que trabajan en dirección opuesta entre sí, como se ilustra en la FIGURA 39-8.

El esqueleto de los vertebrados desempeña muchas funciones

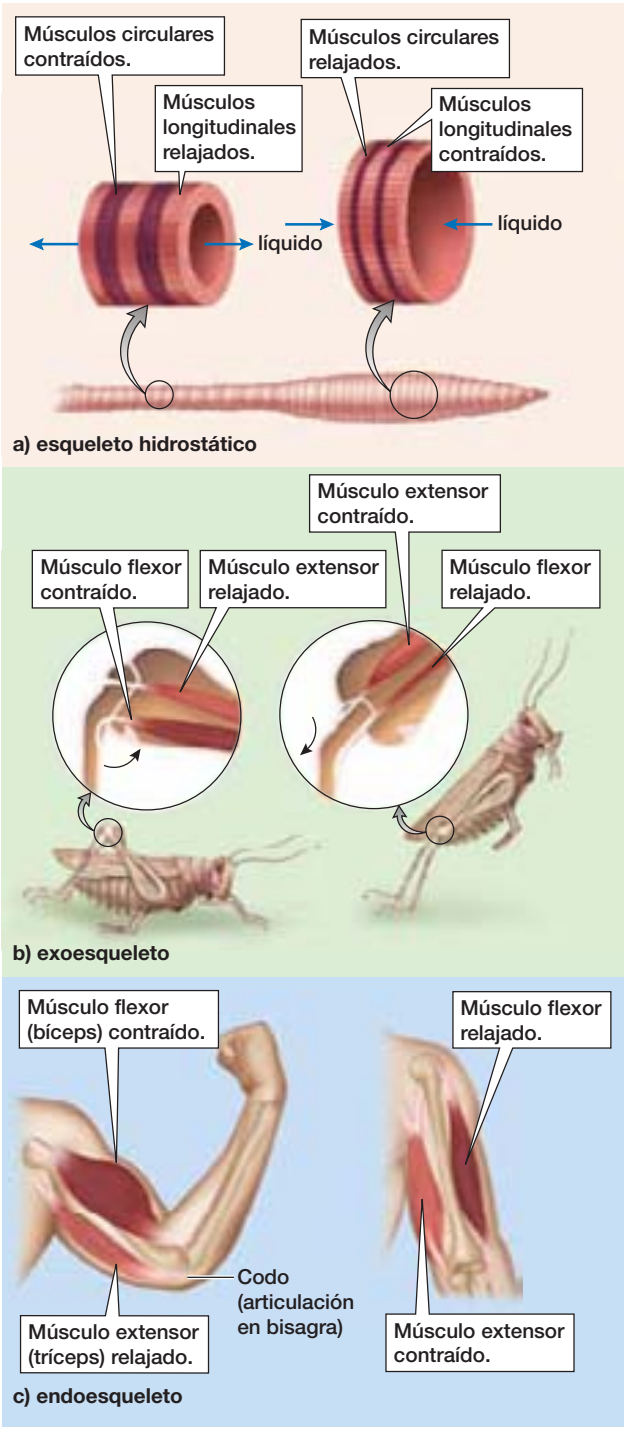


FIGURA 39-8 Los músculos antagónicos trabajan con diversos esqueletos
a) Un esqueleto hidrostático, como el de esta lombriz, es esencialmente un tubo lleno de líquido con paredes musculares. Los músculos circulares forman bandas alrededor de la circunferencia del tubo y trabajan en oposición a los músculos longitudinales. Puesto que los líquidos no se comprimen y pueden adoptar cualquier forma, si se contraen los músculos circulares, el animal se alarga y adelgaza (izquierda); si se contraen los músculos longitudinales, se acorta y engorda (derecha). ***b)*** Los músculos antagónicos flexor y extensor se adhieren al interior del exoesqueleto de los artrópodos y

alas, aletas, extremidades y otras estructuras complejas maravillosamente diseñadas que permiten a los vertebrados volar, nadar, correr y saltar. Los huesos de los vertebrados están adaptados para diferentes tipos de locomoción, como se muestra en "Enlaces con la vida: Caminar con un perro".

- Los huesos producen glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas (véase el capítulo 32.) En los adultos, la *médula ósea roja* —que se localiza en las áreas porosas del esternón, costillas, extremidades superiores e inferiores y caderas— produce estas células del sistema circulatorio.
- El hueso almacena calcio y fósforo, absorbe y libera estos minerales según sea necesario, y mantiene una concentración constante de ellos en la sangre.
- El esqueleto de los vertebrados participa en la transducción sensorial. Los huesos diminutos del oído medio transmiten las vibraciones sonoras entre el tímpano y la cóclea.

Los 206 huesos del esqueleto humano pueden clasificarse en dos categorías. El **esqueleto axial** forma el eje del cuerpo e incluye los huesos de la cabeza, la columna vertebral y la caja torácica (véase la figura 39-1). Por su parte, el **esqueleto apendicular** (véase la figura 39-1) incluye las extremidades o miembros delanteros y traseros en los vertebrados terrestres (brazos y piernas en el caso de los humanos), así como dos cinturones de sostén. El *cinturón pectoral*, el cual consiste en las clavículas y los omóplatos en los seres humanos, une los brazos al esqueleto axial y ofrece sitios de sujeción para los músculos del tronco y los brazos. Los huesos de la cadera forman el *cinturón pélvico*, el cual une las piernas al esqueleto axial, ayuda a proteger los órganos abdominales y brinda puntos de unión para los músculos del tronco y las piernas.

39.4 ¿QUÉ TEJIDOS FORMAN EL ESQUELETO DE LOS VERTEBRADOS?

El esqueleto de los vertebrados consiste en tres tipos de tejido conectivo especializado: *cartílago*, *hueso* y *ligamentos*. Tanto el cartílago como el hueso son tejidos rígidos que consisten en células vivas incrustadas en una matriz constituida de la proteína llamada colágeno. El colágeno también forma las bandas resistentes de tejido conectivo llamadas **ligamentos**, que unen los huesos a las articulaciones, lo que permite a los huesos moverse unos con respecto a otros mientras permanecen unidos. La estructura de los ligamentos es similar a la de los tendones que unen los músculos con los huesos.

El cartílago proporciona un sostén flexible y conexiones

El **cartílago** desempeña muchas funciones en el esqueleto de los vertebrados. Por ejemplo, durante el desarrollo del embrión, el esqueleto se forma primero de cartílago, el cual posteriormente es remplazado por hueso (FIGURA 39-9

FIGURA 39-9 El hueso remplaza al cartílago durante el desarrollo En este feto humano de 16 semanas, los huesos aparecen de color magenta (o rojo oscuro). Las áreas claras en muñecas, rodillas, tobillos, codos y esternón muestran el cartílago que más tarde será remplazado por hueso.

cillos resistentes y amortiguadores en las articulaciones de las rodillas, así como los **discos intervertebrales** situados entre las vértebras de la columna vertebral (véase la figura 39-1).

Las células vivas del cartílago se llaman **condrocitos**. Estas células secretan una matriz flexible, elástica e inanimada de colágeno que las rodea y forma la masa del cartílago (FIGURA 39-10, izquierda). Ningún vaso sanguíneo penetra el cartílago; para intercambiar los desechos y nutrimentos, los condrocitos dependen de la difusión gradual de los materiales a través de la matriz de colágeno. Tal como podría esperarse, las células cartilaginosas tienen una tasa metabólica muy lenta; por eso, el cartílago dañado se repara a sí mismo muy lentamente, si acaso lo hace.

El hueso brinda al cuerpo un armazón rígido y resistente

El **hueso** es la forma más rígida de tejido conectivo. Aunque se asemeja al cartílago, las fibras de colágeno del hueso están endurecidas por depósitos del mineral *fosfato de calcio*. Los huesos, como los que constituyen el sostén de nuestros brazos y piernas, poseen una capa externa de **hueso compacto** y en el interior tienen **hueso esponjoso** (FIGURA 39-10

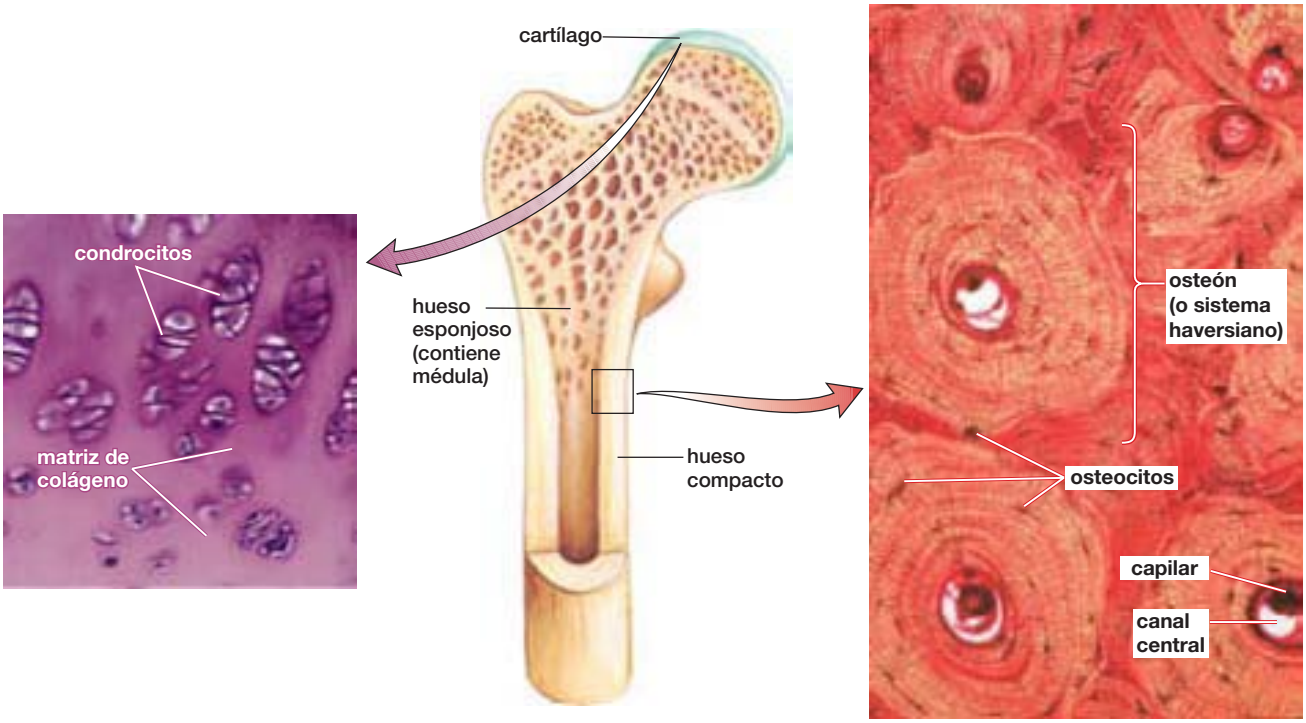


FIGURA 39-10 Cartílago y hueso
(izquierda) En el cartílago, los condrocitos (o células cartilaginosas) están incrustados en la matriz extracelular de colágeno que secretan. **(centro)** Un hueso (como los del brazo o de la pierna) tiene una capa externa de tejido compacto y presenta tejido esponjoso en su interior. Para simplificar, no se muestran los vasos sanguíneos. **(derecha)** Los osteones (o sistemas haversianos) se ven claramente en esta micrografía. Cada uno incluye un canal central que contiene un capilar que nutre a los osteocitos, los cuales están dentro de los anillos concéntricos del material óseo.

roso y rico en vasos sanguíneos. La médula ósea, donde se forman los glóbulos rojos, se encuentra en las cavidades del hueso esponjoso. En contraste con el cartílago, el hueso está bien irrigado por capilares.

Hay tres tipos de células óseas: **osteoblastos** (células que forman hueso), **osteocitos** (células óseas maduras), y **osteoclastos** (células que disuelven el hueso). En el desarrollo temprano, cuando el hueso remplaza al cartílago en el esqueleto, los osteoclastos invaden el cartílago y lo disuelven; los osteoblastos entonces lo remplazan con hueso. A medida que éste crece, los osteoblastos forman una capa delgada que cubre el exterior del hueso. Los osteoblastos secretan una matriz endurecida de hueso y gradualmente quedan atrapados en ella. En este punto los osteoblastos dejan de producir hueso y maduran para convertirse en osteocitos (**FIGURA 39-10**, derecha). Los osteocitos se nutren por medio de los capilares cercanos y están conectados a otros osteocitos por delgadas extensiones citoplásmicas a través de canales angostos del hueso. Aunque ya no pueden producir más hueso, los osteocitos pueden secretar sustancias que controlan la remodelación continua de hueso.

La remodelación ósea permite la reparación del esqueleto y su adaptación a las tensiones

Cada año, del 5 al 10 por ciento de todos los huesos de nuestro cuerpo se disuelve y se remplaza a través de un proceso llamado *remodelación ósea.*

GUARDIÁN DE LA SALUD Cómo se repara un hueso fracturado

Un resbalón repentino, se escucha un crujido y la extremidad lesionada se curva de una forma extraña. Es necesario dirigirse rápidamente a la sala de urgencias de un hospital cercano. Ahí, el médico de guardia toma placas de rayos X, luego coloca el hueso en su lugar y lo inmoviliza enyesándolo o entablillándolo. El resto del proceso de reparación correrá a cargo de los mecanismos propios del organismo. Durante las siguientes seis semanas, el cuerpo pondrá en marcha un proceso de restauración sistemática para recuperar la fuerza e integridad del hueso.

La reparación ósea se inicia con la formación de un coágulo grande de sangre proveniente de los vasos sanguíneos que se rompieron durante la lesión (**FIGURA E39-1**, paso ①). Las células fagocíticas de la sangre y los osteoclastos del hueso fracturado ingieren y disuelven los desechos celulares, así como los fragmentos óseos. La fractura rompe el *periostio*, una capa delgada de tejido conectivo que rodea al hueso y que es rica en capilares y osteoblastos. Los osteoblastos, junto con las células que forman cartílago, secretan un *callo*, una masa porosa de hueso y cartílago que rodea a la fractura (**FIGURA E39-1**, paso ②). El callo remplaza al coágulo original y mantiene unidos los extremos del hueso mientras los procesos de remodelación reconstituyen la forma original del hueso. Una vez que el callo está en su sitio, los osteoclastos, osteoblastos y capilares lo invaden. Nutridos por los capilares, los osteoclastos descomponen el cartílago mientras los osteoblastos añaden hueso nuevo (**FIGURA E39-1**, paso ③). Finalmente, los osteoclastos eliminan el exceso de hueso y restauran su forma original, aunque a menudo producen un ligero engrosamiento (**FIGURA E39-1**, paso ④).

FIGURA E39-1 Etapas de la reparación de un hueso

osteón consiste en capas concéntricas de hueso con osteocitos incrustados. Las capas concéntricas de material óseo rodean un *canal central*

39.5 ¿CÓMO SE MUEVE EL CUERPO?

Además de dar sostén al cuerpo, el esqueleto facilita el movimiento al constituir un armazón que los músculos pueden mover. El movimiento de todos los esqueletos se realiza por medio de la acción de pares de músculos antagónicos; es decir, un músculo se contrae de manera activa y hace que otro se extienda pasivamente. Los músculos antagónicos alteran la configuración del esqueleto produciendo movimientos en torno a las articulaciones (en los exoesqueletos y endoesqueletos de los vertebrados; véase la figura 39-8b, c) o alterando la forma del líquido interno (en los esqueletos hidrostáticos; véase la figura 39-8a).

Los músculos mueven al esqueleto en torno a articulaciones flexibles

En los vertebrados, los huesos actúan como palancas que pueden moverse por medio de los músculos esqueléticos a los que están unidos. En general, los huesos se mueven en torno a **articulaciones**

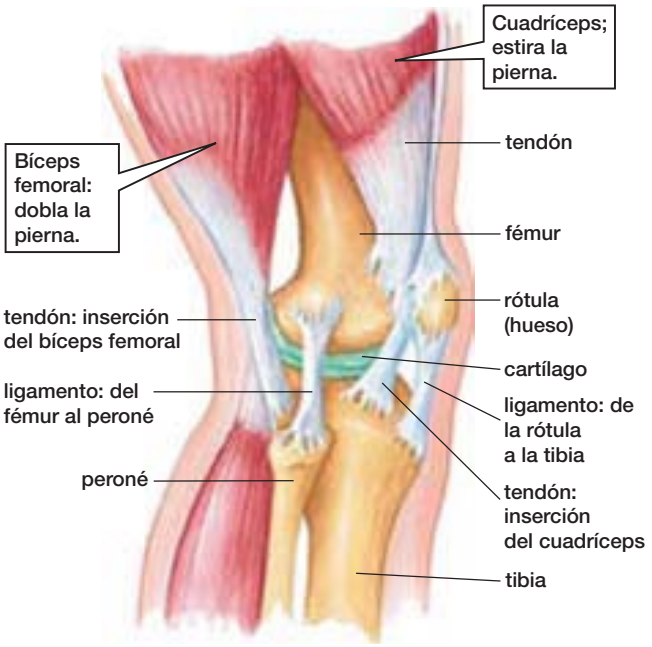


FIGURA 39-11 La rodilla humana
Rodilla humana que muestra los músculos antagónicos (el bíceps femoral y el cuadríceps del muslo), los tendones y ligamentos. La complejidad de esta articulación, aunada a las fuerzas extremas ejercidas sobre ésta durante actividades, como brincar, correr o patinar, la hacen muy susceptible a las lesiones.

FIGURA 39-12 Una articulación multiaxial
a) El codo humano es un buen ejemplo de una articulación multiaxial. ***b)*** La cadera humana puede rotar porque cuenta con una articulación multiaxial, la cual consiste en el extremo redondeado del fémur (la cabeza) que embona en una depresión en forma de copa (la cavidad) en el hueso de la pelvis.

las que sí se mueven, la porción de cada hueso que forma la articulación tiene un recubrimiento de cartílago, cuya superficie suave y elástica permite a las superficies óseas deslizarse unas sobre otras durante el movimiento (véase la figura 39-10, centro). En ambos lados de una articulación, los músculos esqueléticos se sujetan a los huesos por medio de los tendones, y los huesos mismos están unidos por ligamentos (**FIGURA 39-11**).

Los músculos esqueléticos están dispuestos en pares antagónicos en lados opuestos de muchas articulaciones móviles (véase la figuras 39-8c y 39-11). Cuando los músculos que tiran del hueso en una dirección se contraen, lo mueven alrededor de su articulación y de manera simultánea estiran los músculos relajados opuestos (recuerda que los músculos sólo se pueden contraer, y no extenderse, activamente). Las **articulaciones en bisagra** o **diartrosis** están ubicadas en los codos, rodillas y dedos. Al igual que las bisagras de las puertas, estas articulaciones sólo pueden moverse en dos direcciones (**FIGURA 39-12a**). Los pares de músculos antagónicos, conocidos como **flexores** y **extensores**, están casi en el mismo plano que la articulación (véase la figura 39-8c). El tendón en un extremo de cada músculo, llamado **origen**, está fijo a un hueso que permanece estacionario, mientras que el otro extremo, la **inserción**, se une al hueso al otro lado de la articulación, la cual es movida por el músculo. Cuando el músculo flexor se contrae, flexiona la articulación; cuando el músculo extensor se contrae, endereza la articulación. En la figura 39-11, por ejemplo, la contracción del bíceps femoral flexiona la pierna en la rodilla, mientras que la contracción del cuadríceps la endereza. Las contracciones alternadas del músculo flexor y del extensor hacen que los huesos inferiores de la pierna se balanceen adelante y atrás en la articulación de la rodilla.

Otras articulaciones, como las de la cadera y el hombro, son **articulaciones multiaxiales** o **de bola y receptáculo (enartrosis)**, en las cuales el extremo redondeado de un hueso embona en una cavidad o depresión de otro (**FIGURA 39-12b**). Las articulaciones multiaxiales permiten el movimiento en varias direcciones; simplemente compara la libre oscilación del brazo o el muslo con la flexión limitada de la rodilla o el codo. La gama de movimientos de las articulaciones multiaxiales se logra al utilizar cuando menos dos pares de músculos, orientados perpendicularmente, lo que permite flexibilidad de movimiento.

A medida que el ser humano crece y madura, la densidad ósea aumenta continuamente y alcanza un punto máximo entre los 25 y 35 años de edad. En la madurez, la actividad de los osteoclastos comienza a exceder a la de los osteoblastos, y la densidad ósea empieza a sufrir una lenta declinación natural. Cierta pérdida de densidad ósea es natural, pero en la gente con **osteoporosis** (término que significa literalmente "huesos porosos"; **FIGURA E39-2a**), la pérdida es tan severa que debilita los huesos y los hace vulnerables a las fracturas y deformaciones. En muchos casos, las vértebras de las personas con osteoporosis se comprimen y confieren una apariencia jorobada (**FIGURA E39-2b**). En casos extremos, actividades tan sencillas como levantar una bolsa con provisiones, abrir una ventana o incluso estornudar pueden romper un hueso. Casi una tercera parte de las mujeres que llegan a los 85 años sufren la fractura de la cadera debido al debilitamiento óseo causado por la osteoporosis.

Los huesos de las mujeres son menos masivos que los de los hombres; y de acuerdo con la Fundación Nacional de Osteoporosis, las mujeres son cuatro veces más proclives a padecer esta enfermedad. Otro factor que hace la diferencia entre los hombres y las mujeres es que, hasta la menopausia, las mujeres tienen altos niveles de la hormona estrógeno, la cual estimula los osteoblastos y ayuda a mantener la densidad ósea. Después de la menopausia, la producción de estrógeno desciende en forma drástica, y las mujeres pueden perder del 3 al 5 por ciento de su masa ósea anualmente durante varios años. Se estima que casi la mitad de las mujeres de más de 65 años tienen densidad ósea insuficiente y, por lo tanto, están en riesgo de padecer osteoporosis. El alcoholismo y el tabaquismo también contribuyen a la pérdida de masa ósea.

Los huesos se mantienen saludables bajo una tensión moderada, pero la gente mayor tiende a ser menos activa. La falta de actividad (o permanecer en un estado de ingravidez, como en el caso de los astronautas) da como resultado una rápida pérdida de los minerales de los huesos. Aun en los ancianos, el ejercicio ligero como caminar o bailar puede detener la pérdida ósea y, en algunos casos, incluso contribuye a aumentar la masa de los huesos.

Algunas mujeres que padecen de osteoporosis, cuando consultan a su médico, eligen someterse a una terapia hormonal para conservar su densidad ósea. La hormona calcitonina, administrada como aerosol nasal, inhibe la actividad de los osteoclastos y produce efectos benéficos en los huesos. Un fármaco que simula los efectos del estrógeno en el sistema óseo también está disponible para combatir la osteoporosis. En la actualidad se realiza investigación sobre varios fármacos que intervienen en los diversos aspectos de la formación y desintegración ósea. Algún día los astronautas en sus viajes espaciales, así como las mujeres que padecen osteoporosis, solamente tendrán que dedicar de 10 a 20 minutos cada día para ponerse de pie sobre una base vibratoria. Los estudios realizados en varios tipos de animales informaron acerca del impresionante reforzamiento de los huesos como resultado de la aplicación de vibraciones inducidas que fueron casi imperceptibles para las personas que se ofrecieron como voluntarias. Los estudios preliminares con mujeres que han pasado por la menopausia sugieren que esta nueva terapia reduce la pérdida ósea. Los investigadores sostienen la hipótesis de que las diminutas tensiones causadas por las vibraciones pueden activar la formación de hueso tal como lo hacen las tensiones diarias originadas por las contracciones musculares.

Aunque la intervención médica puede revertir parcialmente la osteoporosis y retardar su progreso, en la actualidad no hay cura para ella. Por fortuna, es posible reducir el dolor, la discapacidad y los gastos causados por las fracturas debido a la osteoporosis. La mejor forma de evitar este padecimiento es combinar el ejercicio regular con una ingesta adecuada de calcio y vitamina D (la cual es esencial para que se deposite el calcio en los huesos). Estas medidas, si se inician en una etapa temprana de la vida y se continúan indefinidamente, ayudarán a conservar la masa ósea antes que se inicie la pérdida natural derivada del envejecimiento.

a) Corte de hueso normal

b) Víctima de osteoporosis

FIGURA E39-2 Osteoporosis
a) Corte transversal de un hueso normal (izquierda) comparado con un hueso de una mujer con osteoporosis (derecha). **b)** Los efectos devastadores de la osteoporosis van más allá de un aspecto jorobado; quienes la padecen corren un alto riesgo de sufrir fracturas.

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO

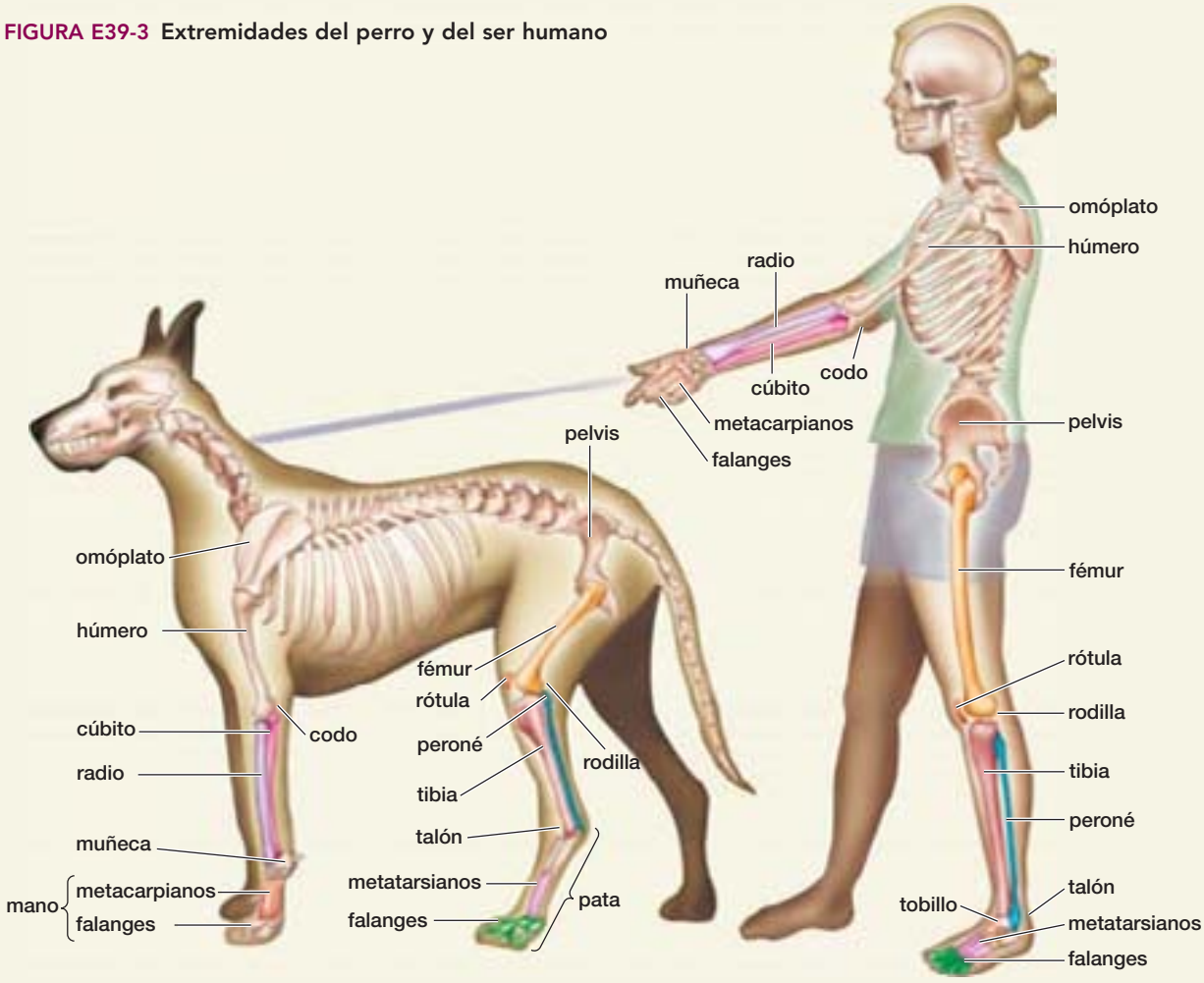
RIESGOS OCULTOS DE LOS VIAJES ESPACIALES

Para evitar la pérdida de masa muscular durante los vuelos espaciales, los astronautas a bordo de la Estación Espacial Internacional hacen ejercicio durante dos horas diariamente en una bicicleta fija y en una caminadora. Sin embargo, la pérdida de hueso es más difícil de controlar. Los investigadores sostienen la hipótesis de que la ingravidez favorece (en formas aún desconocidas) la actividad de los osteoclastos que disuelven el hueso, anulando las acciones de los osteoblastos que refuerzan el sistema esquelético. Además de reducir la resistencia ósea, hay otros riesgos latentes. Un hueso que no se usa se disuelve y libera calcio en el torrente sanguíneo; con el tiempo, ese calcio se acumula en los riñones, donde forma cálculos renales. Como las condiciones de ingravidez son una realidad cotidiana para los viajeros espaciales, los científicos están tratando de determinar si la producción ósea puede estimularse por medios químicos, quizá reforzando las proteínas mensajeras que favorecen la producción y la actividad de los osteoblastos. Recientemente, los científicos descubrieron y clonaron el gen de una proteína que conserva al hueso llamada osteoprotegerina (OPG), la cual inhibe la actividad de los osteoclastos. En un experimento se aplicó una inyección de OPG a unos ratones; luego, se les envió al espacio durante 12 días, junto con otros ra-

ENLACES CON LA VIDA — Caminar con un perro

Cada tipo de vértebra descansa en un armazón esquelético básico que evolucionó primero en los peces pero que, a través del tiempo evolutivo, desarrolló adaptaciones de acuerdo con el estilo de vida único de los animales. Un ejemplo cercano lo encontramos si nos fijamos en las patas de un perro. ¿Dónde se encuentran en el perro el "tobillo", la "rodilla", el "codo" y la "muñeca"? ¿Están todos los huesos de las manos y los pies humanos contenidos dentro de las pequeñas patas del perro? Compara los dibujos de la **FIGURA E39-3**. ¡Te llevarás una sorpresa!

FIGURA E39-3 Extremidades del perro y del ser humano



tones que constituían el grupo control. En comparación con los ratones que sirvieron de control, aquellos a los que se inyectó OPG perdieron mucho menos masa ósea durante el periodo que estuvieron en condiciones de ingravidez, lo cual sugiere que esto podrá ayudar a los futuros astronautas.

Para simular una ingravidez prolongada, aquí en la Tierra, un equipo de investigadores internacionales convenció a algunos voluntarios de que pasaran tres meses confinados en una cama con la cabeza inclinada ligeramente hacia abajo (**FIGURA 39-13**). A un grupo se le administró un fármaco contra la osteoporosis; a los integrantes del otro grupo se les indicó que hicieran ejercicio acostados tres veces a la semana; y el tercer grupo sirvió de control. Los datos recabados aún se están analizando, pero los hallazgos preliminares indican que el ejercicio realizado tres veces a la semana redujo la pérdida ósea y muscular, y que el fármaco contra la osteoporosis ayudó a contrarrestar la pérdida de hueso. Como podrás imaginar, el estudio resultó tedioso para los voluntarios. Uno de ellos comentó: "En verdad ya quiero levantarme de esta cama. Cómo extraño manejar mi auto, andar en bicicleta y tomar una ducha". Más tarde, después de levantarse lentamente y empezar a tratar de mover las piernas que se habían desacostumbrado a la locomoción, comentó: "Es una excelente experiencia. Estoy contento por haberla disfrutado".

Piensa en esto Algunas personas creen que la investigación en relación con los viajes espaciales es una pérdida de dinero y talento, pues aún existen muchos problemas sin solución y necesidades sin satisfacer aquí en la Tierra. ¿Cómo podría justificar un científico de la NASA la investigación sobre pérdida ósea en el espacio ante una audiencia escéptica? ¿Aceptarías ser un voluntario para un estudio en el que hay que permanecer postrado en una cama, como el que se describió aquí? ¿Por qué?

FIGURA 39-13 Un voluntario hace ejercicio mientras está boca arriba y ligeramente inclinado

REPASO DEL CAPÍTULO

RESUMEN DE CONCEPTOS CLAVE

39.1 Una introducción a los sistemas muscular y esquelético

Los músculos sólo se pueden contraer activamente. Los músculos esqueléticos trabajan en estrecha armonía con el esqueleto, lo que proporciona una estructura contra la cual la contracción puede mover el cuerpo. La contracción del músculo cardiaco bombea sangre, y el músculo liso mueve el alimento a través del tracto digestivo, influye en el diámetro de los vasos sanguíneos y hace que se contraigan los órganos huecos como la vejiga y el útero.

39.2 ¿Cómo trabajan los músculos?

Las fibras del músculo esquelético (células musculares) consisten en subunidades de miofibrillas rodeadas de retículo sarcoplásmico. Los sarcómeros están unidos extremo con extremo dentro de cada miofibrilla y contienen filamentos gruesos de miosina y filamentos delgados de actina que se alternan, así como dos proteínas accesorias (troponina y tropomiosina). Los filamentos delgados están adheridos a las proteínas llamadas líneas Z.

Cuando una neurona motriz en una sinapsis llamada unión neuromuscular estimula una fibra de músculo esquelético, esta última produce potenciales de acción. Cuando un potencial de acción invade la fibra muscular por los túbulos T, se libera calcio del retículo sarcoplásmico. El calcio hace que las proteínas accesorias se separen de los sitios de unión de miosina en las moléculas de actina de los filamentos delgados, lo que permite que los puentes cruzados de los filamentos gruesos se unan a ellos. Con la energía del ATP, los puentes cruzados se flexionan, se sueltan y se vuelven a unir, deslizando los filamentos uno respecto al otro y acortando los sarcómeros y, por lo tanto, la fibra muscular. Tanto la fuerza como el grado de las contracciones musculares dependen del número de fibras musculares estimuladas y de la frecuencia de los potenciales de acción en cada fibra. Una descarga rápida produce una contracción máxima.

Los músculos esqueléticos dependen del suministro constante de ATP derivado de la respiración celular o, para una actividad enérgica, de la glucólisis, la cual no requiere oxígeno y produce ácido láctico. En respuesta a los esfuerzos, las fibras musculares se hacen más largas y fuertes al agregar miofibrillas de actina y miosina, pero no aumentan en cantidad.

El músculo cardiaco (corazón) también consta de sarcómeros que contienen filamentos gruesos y delgados que se alternan. Sus células se contraen rítmica y espontáneamente, pero estas contracciones se sincronizan por medio de señales eléctricas producidas por las fibras musculares especializadas del nodo sinoauricular (SA). Las fibras del músculo cardiaco están interconectadas por los discos intercalados que contienen muchas uniones abiertas, las cuales conducen señales eléctricas y producen contracciones coordinadas. El músculo liso carece de sarcómeros organizados; pero, a semejanza del músculo cardiaco, sus células están acopladas eléctricamente por medio de uniones abiertas. El músculo liso rodea a los órganos huecos (útero, tracto digestivo, vejiga) y los vasos sanguíneos, lo que produce contracciones lentas y sostenidas o rítmicas, las cuales son involuntarias.

Web tutorial 39.1 Estructura muscular

Web tutorial 39.2 Contracción muscular

39.3 ¿Qué función desempeña el esqueleto?

Entre los animales se encuentran tres tipos de esqueletos. Los esqueletos hidrostáticos (en los cnidarios, moluscos y gusanos) consisten en un líquido confinado dentro de una cámara rodeada de músculo. Los exoesqueletos se encuentran en los artrópodos y son recubrimientos externos con articulaciones flexibles. Los endoesqueletos, incluido el esqueleto óseo de los vertebrados, se encuentran en los equinodermos y cordados.

El esqueleto de los vertebrados brinda sostén al cuerpo, puntos de inserción para los músculos y protección para los órganos internos. Los glóbulos rojos, los glóbulos blancos y las plaquetas se forman en la médula ósea. Los huesos actúan como almacenamiento de calcio y fósforo. El esqueleto axial incluye el cráneo, la columna vertebral y la caja torácica. El esqueleto apendicular consiste en los cinturones pectoral y pélvico y los huesos de los brazos, piernas, manos y pies.

39.4 ¿Qué tejidos forman el esqueleto de los vertebrados?

El cartílago se encuentra en los extremos de los huesos y forma cojincillos en las articulaciones de la rodilla y en los discos intervertebrales. También confiere soporte a la nariz, las orejas y las vías respiratorias. Durante el desarrollo embrionario, el cartílago es el precursor del hueso. El cartílago está formado por condrocitos, los cuales se rodean de una matriz de colágeno fibroso. El colágeno también forma bandas densas de tejido llamadas ligamentos, los cuales conectan los huesos con las articulaciones móviles, así como los tendones que conectan los músculos a los huesos.

El hueso está formado de osteoblastos, los cuales secretan una matriz de colágeno que se endurece por el fosfato de calcio. Un hueso común consiste en una cubierta externa de hueso duro y compacto, a la cual se sujetan los músculos, y el hueso esponjoso interno, el cual puede contener médula ósea. La remodelación del hueso ocurre de forma continua. Los osteoclastos penetran (por túneles) a través del hueso por medio de ácidos y enzimas. Los capilares de alimentación invaden los túneles, y los osteoblastos llenan el espacio con capas concéntricas de hueso nuevo y dejan un pequeño canal central para cada capilar. Este proceso genera osteones. Los osteoblastos llegan a quedar atrapados dentro del hueso y maduran para convertirse en osteocitos.

39.5 ¿Cómo se mueve el cuerpo?

Los músculos esqueléticos a menudo forman pares antagónicos que mueven el esqueleto. En el esqueleto de los vertebrados, el movimiento ocurre en torno a las articulaciones, donde los huesos se unen entre sí por medio de ligamentos. Los músculos se sujetan a los huesos a ambos lados de la articulación por medio de los tendones. La contracción de un músculo flexiona la articulación y estira a su músculo antagónico. En las articulaciones en bisagra, los orígenes de los músculos están adheridos al hueso inmóvil; sus inserciones se sujetan al hueso móvil. La contracción del músculo flexor dobla la articulación; la contracción de su músculo extensor antagónico la endereza.

TÉRMINOS CLAVE

actina *pág. 800* **articulación en bisagra** **articulación multiaxial** **cartílago** *pág. 806*

disco intervertebral *pág. 806*
endoesqueleto *pág. 805*
esqueleto *pág. 804*
esqueleto apendicular *pág. 806*
esqueleto axial *pág. 806*
esqueleto hidrostático *pág. 804*
exoesqueleto *pág. 805*
extensor *pág. 809*
fibra muscular *pág. 800*
filamento delgado *pág. 800*
filamento grueso *pág. 800*
flexor *pág. 809*
hueso *pág. 806*
hueso compacto *pág. 806*
hueso esponjoso *pág. 806*
inserción *pág. 809*
ligamento *pág. 806*
línea Z *pág. 800*
miofibrilla *pág. 800*
miosina *pág. 800*
músculo cardiaco *pág. 799*
músculo esquelético *pág. 799*
músculo liso *pág. 799*
músculos antagónicos *pág. 805*
origen *pág. 809*
osteoblasto *pág. 807*
osteocito *pág. 807*
osteoclasto *pág. 807*
osteón *pág. 807*
osteoporosis *pág. 810*
puentes cruzados *pág. 800*
retículo sarcoplásmico *pág. 800*
sarcómero *pág. 800*
tendón *pág. 800*
túbulo T *pág. 800*
unidad motriz *pág. 802*
unión neuromuscular *pág. 802*

RAZONAMIENTO DE CONCEPTOS

1. Dibuja una fibra muscular relajada que contenga una miofibrilla, sarcómeros y filamentos gruesos y delgados. ¿Qué aspecto tendría una fibra muscular contraída en comparación?
2. Describe el proceso de contracción de los músculos esqueléticos, comenzando con un potencial de acción de una neurona motriz y terminando con la relajación del músculo. Tu respuesta debe incluir las siguientes palabras: *unión neuromuscular, túbulo T, retículo sarcoplásmico, calcio, filamentos delgados, sitios de unión, filamentos gruesos, sarcómeros, línea Z, y transporte activo.*
3. Explica los siguientes enunciados: Los músculos sólo se pueden contraer activamente. Las fibras musculares se alargan pasivamente.
4. ¿Cuáles son los tres tipos de esqueletos que se encuentran en los animales? De uno de ellos, describe cómo los músculos están dispuestos alrededor del esqueleto y cómo las contracciones de los músculos dan como resultado el movimiento del esqueleto.
5. Compara la estructura y función de los siguientes pares: hueso compacto y hueso esponjoso; músculo liso y músculo esquelético; cartílago y hueso.
6. Explica las funciones de los osteoblastos, osteoclastos y osteocitos.
7. ¿Cómo se convierte el cartílago en hueso durante el desarrollo embrionario? ¿Dónde se encuentra el cartílago en el cuerpo, y qué funciones desempeña?
8. Describe una articulación en bisagra y cómo se mueve por medio de los músculos antagónicos.

APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Explica algunos de los problemas que resultarían si el corazón humano estuviera hecho de músculo esquelético en vez de músculo cardiaco.
2. La miastenia grave es causada por la producción anormal de anticuerpos que se enlazan a los receptores de acetilcolina de las células musculares y terminan por destruirlos. Esta enfermedad hace que los músculos se vuelvan flácidos, débiles o se paralicen. Los fármacos, como la neostigmina, que inhibe la acción de la acetilcolinesterasa (una enzima que descompone la acetilcolina) se emplea para tratar la miastenia grave. ¿Cómo restaura la neostigmina la actividad muscular?
3. Las células musculares humanas contienen una mezcla de fibras de contracción lenta y de contracción rápida. Las fibras musculares de contracción lenta descomponen el ATP lentamente; contienen muchas mitocondrias y grandes cantidades de mioglobina, un pigmento de color oscuro que actúa como almacén de oxígeno. Todas las células musculares de contracción rápida descomponen el ATP rápidamente y poseen menores cantidades de mioglobina. Las cantidades relativas de estas fibras en los diferentes músculos se encuentran bajo el control genético. Emplea esta información para explicar la ubicación de la carne oscura (que contiene mioglobina) y blanca de las aves.

PARA MAYOR INFORMACIÓN

Andersen, J. L., Schjerling, P. y Saltin, B. "Muscle, Genes, and Athletic Performance". *Scientific American*, septiembre de 2000. La fisiología muscular se ve influida tanto por los genes como por el entrenamiento y contribuye a la habilidad atlética.

Booth, F. W. y Neufer, P. D. "Exercise Controls Gene Expression". *American Scientist*, enero-febrero de 2005. Cuando se hace trabajar a los músculos esqueléticos, se altera la forma en que se expresan los genes y se producen cambios saludables en el cuerpo.

Rosen, C. J. "Restoring Aging Bones". *Scientific American*, marzo de 2003. Los nuevos tratamientos para la osteoporosis están ayudando a las mujeres y hombres de edad avanzada a tener una vida más productiva.

Ruff, C. B. "Gracilization of the Modern Human Skeleton". *American Scientist* nes de años, los esqueletos humanos se han vuelto menos sólidos, a medida que han cambiado las presiones de selección en ellos.

Sweeney, H. L. "Gene Doping". *Scientific American*, julio de 2004. Las técnicas de la ingeniería genética pueden ayudar a la gente que padece de trastornos musculares, pero ¿los atletas sin escrúpulos las emplearán para mejorar su rendimiento?

Travis, J. "Boning Up". *Science News*, 15 de enero de 2000. Los investigadores están manejando un gen descubierto recientemente cuya proteína cambia el equilibrio entre los osteoblastos y los osteoclastos.

Williams, C. "Don't Use It, Don't Lose It". *New Scientist*, 2 de septiembre de 2006. Los nuevos conocimientos sobre por qué se atrofian los músculos si no se usan pueden ayudar a desarrollar tratamientos preventivos.

CAPÍTULO 40

Reproducción animal

El zoológico congelado consiste en muestras de tejido y células sexuales, a menudo de especies en peligro de extinción, preservadas en nitrógeno líquido. (Imagen en recuadro) El último pájaro po'ouli murió en 2004, pero sus células viven en el zoológico congelado.

DE UN VISTAZO

ESTUDIO DE CASO El zoológico congelado

40.1 ¿Cómo se reproducen los animales?

La reproducción asexual no implica la fusión de espermatozoide y óvulo

La reproducción sexual requiere de la unión de un espermatozoide y un óvulo

40.2 ¿Cómo funciona el aparato reproductor humano?

La capacidad para reproducirse se inicia en la pubertad

El tracto reproductor masculino incluye los testículos y las estructuras accesorias

El tracto reproductor femenino comprende los ovarios y las estructuras accesorias

La cópula permite la fecundación interna

De cerca: El control hormonal del ciclo menstrual

Guardián de la salud: Enfermedades de transmisión sexual

40.3 ¿Cómo podemos limitar la fertilidad?

La esterilización es un método anticonceptivo permanente

La anticoncepción y el aborto evitan o ponen fin al embarazo

Guardián de la salud: Reproducción con alta tecnología

Investigación científica: En busca de un anticonceptivo masculino

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO El zoológico congelado

ESTUDIO DE CASO EL ZOOLÓGICO CONGELADO

EN ENERO DE 2000, el último bucardo (una cabra nativa de los Pirineos españoles) que quedaba vivo murió cuando un árbol le cayó encima. En 2004 el último pájaro hawaiano po'ouli (imagen en recuadro) que quedaba en el mundo murió en el Centro de Conservación para Aves de Maui. Pero existe la esperanza de que las futuras generaciones conozcan estas especies extintas. Gracias al "zoológico congelado" de San Diego, sus células, que contienen sus mapas genéticos, se mantienen vivas por un método llamado *criogenia* (el cual permite conservarlas con vida en un estado de profundo congelamiento), que se puso en práctica antes de la extinción de las especies. El zoológico congelado de San Diego alberga colecciones de tejidos, espermatozoides y óvulos de unos 5000 animales que representan unas 300 especies, almacenados en contenedores especiales llenos de nitrógeno líquido a –196°C (–320°F). Muchas de estas especies están en peligro de extinción, es decir, a diferencia del bucardo y el po'ouli, la mayoría de ellas no están extintas. Existen unos 12 zoológicos congelados en el mundo, los cuales brindan la materia prima para una forma única de conservación de la vida silvestre mediante *tecnología reproductiva asistida* (TRA).

Este enfoque de la conservación de la vida silvestre implica técnicas como la inseminación artificial, la fertilización in vitro, la transferencia de embriones entre especies (el uso de una madre sustituta para una especie diferente, pero emparentada) e incluso la clonación. Estas técnicas están rodeadas de controversia y frustración, aunque han conducido a algunas historias de éxito que sirven de inspiración. La inseminación artificial se ha convertido en la piedra angular en los esfuerzos para salvar al hurón de patas negras, el panda gigante y el guepardo. La *fertilización in vitro* (FIV, en la que el espermatozoide y el óvulo se unen en una caja de Petri) es ahora una importante herramienta de conservación. Una ventaja importante de la FIV es que permite transportar los espermatozoides de una especie en peligro de extinción —entre continentes, si es necesario— para fertilizar a la hembra apropiada. Esto elimina el riesgo y el trauma que implica transportar animales; también evita la posibilidad real de que, una vez juntos los ejemplares, haya un rechazo hacia la pareja. Los mayores éxitos de la FIV incluyen el primer tigre siberiano "de probeta" en 1990, un gorila en 1996 y el primer panda en 2003. Irónicamente, la pérdida de especies que hace que la TRA sea tan importante es el enorme éxito reproductivo de una sola especie: el *Homo sapiens*. La floreciente población humana amenaza la vida silvestre en todo el mundo, a medida que continuemos usurpando los hábitat de la vida silvestre para obtener alimento, espacios para vivienda y recursos naturales, y en tanto nuestro consumo de energía altere el clima global.

¿Cómo se reproducen los animales, incluidos los seres humanos? ¿Qué opciones tenemos para controlar la reproducción? ¿Cómo ayuda la tecnología reproductiva asistida a las parejas que sufren infertilidad? ¿Se justifican las soluciones de alta tecnología para preservar a las especies en peligro de extinción?

40.1 ¿CÓMO SE REPRODUCEN LOS ANIMALES?

Los animales se reproducen de forma sexual o asexual. En la **reproducción sexual** el animal produce gametos haploides mediante meiosis. En un proceso llamado **fecundación**, dos gametos, por lo regular de progenitores distintos, fusionan sus núcleos para dar origen a una célula diploide, que luego se divide por mitosis para producir un individuo diploide. Puesto que el descendiente recibe genes de ambos progenitores, su genoma no es idéntico al de ninguno de ellos. En contraste, en la **reproducción asexual** sólo interviene un animal que produce descendientes mediante una mitosis repetida de células de alguna parte de su cuerpo, de manera que los descendientes son genéticamente idénticos al progenitor.

Como el ser humano y muchos animales se reproducen sexualmente, tendemos a considerar la reproducción sexual como el método normal y el mejor. Sin embargo, aunque la reproducción sexual produce nuevas combinaciones de genes, la reproducción asexual es mucho más eficiente, pues los individuos pueden efectuarla por sí solos. No debe extrañarnos que muchos animales se reproduzcan asexualmente, al menos parte del tiempo.

La reproducción asexual no implica la fusión de espermatozoide y óvulo

La gemación produce una versión miniatura del adulto

Muchas esponjas y celentéreos, como la hidra y algunas anémonas de mar, se reproducen por **gemación** (FIGURA 40-1). Una versión miniatura del animal, llamada *yema*, crece directamente en el cuerpo del adulto, del cual obtiene nutrimentos. Una vez que ha crecido lo suficiente, la yema se separa y se vuelve independiente.

La fisión seguida de regeneración puede producir un nuevo individuo

Muchos animales pueden efectuar **regeneración**, es decir, la capacidad de hacer crecer partes del cuerpo que se han perdido. Por ejemplo, las estrellas de mar regeneran un brazo que pierden por un accidente, en tanto que las lagartijas regeneran la cola que perdieron por el ataque de un depredador. La regeneración es parte de la reproducción en las especies que se reproducen por **fisión**. Varias especies de anélidos y platelmintos se reproducen dividiéndose en dos o más fragmentos, cada uno de los cuales regenera un cuerpo completo (FIGURA 40-2). Unas cuantas especies de estrella de mar quebradiza se reproducen de forma similar. Entre los celentéreos (es decir, anémonas, medusas y sus parientes), algunas especies de coral y algunas anémonas pueden dividirse longitudinalmente en mitades y regenerarse para formar dos nuevos individuos.

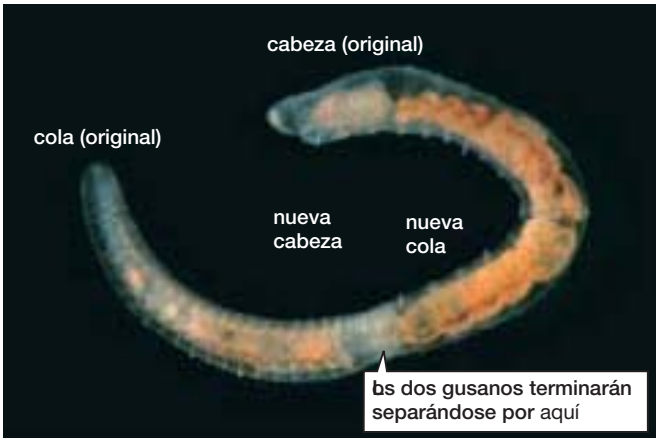


FIGURA 40-2 Fisión seguida de regeneración
Este anélido marino (segmentado) puede reproducirse dividiendo su cuerpo y regenerando cada mitad. PREGUNTA: ¿Qué tipo de división celular da origen a las células del cuerpo del descendiente?

En la partenogénesis, los óvulos se desarrollan sin fecundación

Las hembras de algunas especies de animales se pueden reproducir por un proceso llamado **partenogénesis**, en el que óvulos haploides se dividen por mitosis y se desarrollan sin ser fecundados para constituir adultos. La descendencia de algunas especies producida por partenogénesis sigue siendo haploide. Por ejemplo, las abejas macho son haploides, pues nacen de óvulos no fecundados; sus hermanas diploides se desarrollan a partir de óvulos fecundados. Por otra parte, algunos peces, anfibios y reptiles se reproducen por partenogénesis, pero recuperan el número diploide de cromosomas duplicando todos éstos, ya sea antes o después de la meiosis. Todos los descendientes son hembras.

Algunas especies de peces, como ciertos parientes de los *mollies* y los *platys* que tanto se venden en las tiendas de peces tropicales, y algunas lagartijas, como la cola de látigo, común en México y el suroeste de Estados Unidos (FIGURA 40-3), tienen poblaciones que consisten exclusivamente en hembras que se reproducen por partenogénesis. Otros animales, como los áfidos, se pueden reproducir sexualmente o por partenogénesis, dependiendo de factores ambientales como la estación del año o la disponibilidad de alimento (

FIGURA 40-3 Lagartija cola de látigo

FIGURA 40-4 Un áfido hembra en reproducción
En la primavera y principios del verano, cuando abunda el alimento, las hembras de los áfidos se reproducen por partenogénesis. De hecho, el desarrollo del tracto reproductor es tan rápido que las hembras ¡nacen embarazadas! En el otoño, la reproducción es sexual. PREGUNTA: ¿Por qué los áfidos se reproducen sexualmente en el otoño?

La reproducción sexual requiere de la unión de un espermatozoide y un óvulo

En vista de la eficiencia obvia de la reproducción asexual, nadie sabe con certeza por qué surgió la reproducción sexual para convertirse en la forma dominante de reproducción. La reproducción sexual tiene una consecuencia importante: la recombinación genética que tiende a crear genotipos novedosos —y, por consiguiente, nuevos fenotipos— que son una fuente importante de variación sobre la cual puede actuar la selección natural.

En los animales se efectúa reproducción sexual cuando un espermatozoide haploide fecunda a un óvulo haploide para generar un descendiente diploide. En casi todas las especies animales, un individuo es macho o hembra. Los sexos se definen por el tipo de gameto que cada uno produce. Las hembras producen **óvulos**: células grandes, inmóviles, que contienen reservas de alimento. Los machos producen **espermatozoides**, que son pequeños, móviles y casi no tienen citoplasma ni reservas alimenticias.

En algunos animales, como la lombriz de tierra y muchos caracoles, un mismo individuo produce espermatozoides y óvulos. Tales individuos se llaman comúnmente **hermafroditas** (por Hermafrodito, un dios griego cuyo cuerpo se unió con el de una ninfa acuática y produjo un ser mitad hombre y mitad mujer). En casi todas las especies hermafroditas, la reproducción implica un intercambio de espermatozoides entre individuos, como ocurre entre las lombrices de tierra (**FIGURA 40-5**). Sin embargo, en algunas especies hermafroditas, un individuo puede fecundar sus propios óvulos, si no hay una pareja disponible. Estos animales, entre los que destacan la solitaria y muchos caracoles de estanque, son relativamente poco móviles y podrían quedar aislados de otros miembros de su especie. En tales circunstancias, la capacidad de autofecundación, sin duda, es una ventaja.

En el caso de las especies con dos sexos y de las hermafroditas que no pueden autofecundarse, la reproducción requiere juntar espermatozoides de un individuo con óvulos de otro, para que haya fecundación. La unión de espermatozoides y óvulos se logra de diversas maneras, dependiendo de la movilidad de los animales y de si se reproducen en el agua o sobre la tierra.

FIGURA 40-5 Las lombrices de tierra intercambian espermatozoides

La fecundación externa se efectúa afuera del cuerpo de los progenitores

En la **fecundación externa**, la unión del espermatozoide y el óvulo se efectúa afuera del cuerpo de los progenitores. Si los animales se reproducen en el medio acuático, los progenitores liberan espermatozoides y óvulos al agua; luego, aquéllos nadan hasta llegar a los óvulos. Este procedimiento se llama **desove**. Puesto que los espermatozoides y óvulos tienen una vida relativamente efímera, los animales que desovan deben coordinar sus comportamientos reproductores, tanto *temporalmente* (el macho y la hembra desovan al mismo tiempo) como *espacialmente* (el macho y la hembra desovan en el mismo lugar). La sincronización puede lograrse mediante señales, comportamientos de cortejo, indicios ambientales o alguna combinación de estos factores.

Casi todos los animales que desovan dependen en algún grado de indicios ambientales. La reproducción suele efectuarse sólo durante ciertas épocas del año; indicios como los cambios en la duración del día generalmente estimulan los cambios fisiológicos que preparan al cuerpo para la reproducción. Sin embargo, se requiere una sincronía más precisa para coordinar la liberación de los espermatozoides y los óvulos. Por ejemplo, muchas especies de coral sincronizan el desove con base en la fase lunar, liberando de manera simultánea paquetes de espermatozoides y óvulos en el agua (**FIGURA 40-6**). Aunque muchos espermatozoides y óvulos conforman cada paquete liberado por estos animales hermafroditas, por lo

FIGURA 40-6 Indicios ambientales podrían sincronizar el desove
En la Gran Barrera de Arrecifes de Australia, miles de corales desovan de manera simultánea, creando un efecto de "ventisca". El desove en estos corales está vinculado a las fases lunares.

a)

b)

FIGURA 40-7 Los rituales de cortejo sincronizan la liberación de espermatozoides y óvulos

a) Los rituales de cortejo entre peces luchadores siameses (*Betta splendens*) aseguran la fecundación de los óvulos de la hembra, pues el macho y la hembra sueltan espermatozoides y óvulos de forma simultánea. El macho intercepta los óvulos a medida que caen, los escupe hacia su nido de burbujas que flota arriba de ellos y cuida a la descendencia durante sus primeras semanas de vida.

El desove en el caballito de mar requiere que el macho y la hembra orienten sus cuerpos de forma que la hembra pueda depositar sus óvulos en la bolsa del macho. PREGUNTA: Además de asegurar la liberación sincronizada de gametos, ¿qué otras ventajas tienen los rituales de cortejo?

regular, no se autofecundan. Los óvulos no están listos para la fecundación inmediatamente, y esta demora les permite mezclarse con los espermatozoides de otros individuos de la misma especie.

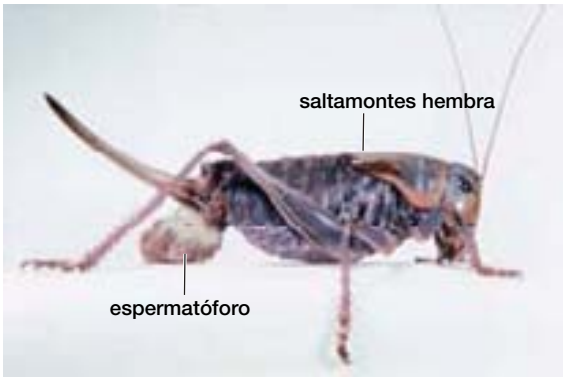
Algunos animales comunican su disposición sexual enviando señales visuales, acústicas o químicas. Las señales químicas son muy comunes entre invertebrados inmóviles o poco activos, como los mejillones y las estrellas de mar. Estos animales secretan al agua sustancias llamadas **feromonas**, las cuales son detectadas por otros miembros de la especie. Normalmente, cuando la hembra está lista para desovar, descarga óvulos y una feromona sexual al agua. Los machos cercanos, al detectar la feromona de apareamiento, liberan rápidamente millones de espermatozoides. Los espermatozoides en sí son atraídos por una sustancia producida por los óvulos de algunos animales, y muy probablemente de casi todos. Algunas "feromonas de óvulo", que se han detectado en animales tan diversos como las estrellas de mar y el ser humano, ayudan a garantizar la fecundación.

La sincronización temporal, por sí sola, no garantiza una reproducción eficiente. Los corales, las estrellas de mar y los mejillones desperdician cantidades enormes de espermatozoides y óvulos porque los gametos se liberan en puntos relativamente distantes. En algunas especies de animales móviles es posible asegurar la sincronía temporal *y* espacial, mediante comportamientos de apareamiento. Casi todos los peces, por ejemplo, tienen algún tipo de ritual de cortejo en el que el macho y la hembra se acercan mucho y liberan sus gametos en el mismo lugar y al mismo tiempo. Las danzas de cortejo del caballito de mar y de los peces luchadores siameses son ejemplos exquisitos de ello (FIGURA 40-7). La hembra del caballito de mar, cargada de óvulos, se aproxima al macho e inicia una elaborada danza en la que ambos participantes se acercan, oscilan e inclinan la cabeza antes de que sus colas se entrelacen y sus cuerpos se alineen cara a cara. En una inusual inversión de roles sexuales, la hembra inserta un tubo para depositar sus óvulos en la bolsa ubicada en el abdomen del macho. Cuando deposita sus óvulos en la bolsa, el macho libera una nube de espermatozoides desde una abertura en la parte inferior; luego sella los óvulos fecundados en su bolsa. Unas cuantas semanas después, los huevos eclosionan y el macho da a luz a perfectos caballitos de mar en miniatura. Las ranas y los sapos asumen una posición de apareo característica llamada *amplexus* (FIGURA 40-8). En las orillas de estanques y lagos, la rana macho se monta en la hembra y presiona los costados de su abdomen. Esto la estimula para que libere óvulos, que el macho fecunda al liberar muchos espermatozoides. Los sapos dorados que aquí aparecen en amplexus fueron alguna vez abundantes en los bosques neblinosos de

FIGURA 40-8 Los sapos dorados en amplexus

El pequeño macho sujeta con fuerza a la hembra y la estimula para que libere óvulos. Se cree que los sapos dorados se extinguieron.

a)



b)

FIGURA 40-9 La reproducción en tierra requiere de la fecundación interna
a) Un rinoceronte de Sumatra macho, en peligro de extinción, monta a una hembra para aparearse. **b)** Un grillo mormón hembra introduce un paquete de espermatozoides en su cuerpo.

Costa Rica, pero no se les ha vuelto a ver desde 1989. Su desaparición, en opinión de los científicos, fue provocada por cambios ambientales relacionados con el uso del suelo y el calentamiento global; además, fue tan repentina que nadie pensó en preservar la herencia genética de tal especie en un zoológico congelado, así que ésta se perdió para siempre.

La fecundación interna se efectúa dentro del cuerpo de la hembra

En la **fecundación interna**, los espermatozoides se introducen en el cuerpo de la hembra, donde tiene lugar la fecundación. La fecundación interna es una adaptación importante a la vida terrestre, porque los espermatozoides deben permanecer bañados en líquido hasta que llegan a los óvulos. Incluso en entornos acuáticos, la fecundación interna eleva la probabilidad de alcanzar el éxito, porque los espermatozoides y los óvulos están confinados juntos en un espacio pequeño, en lugar de depender de encuentros dentro de un gran volumen de agua.

La fecundación interna por lo regular se realiza mediante la **cópula**, el comportamiento por el cual el macho deposita espermatozoides directamente en el tracto reproductor de la hembra (FIGURA 40-9a). En una variación de la fecundación interna, los machos de algunas especies empacan sus espermatozoides en un envoltorio llamado **espermatóforo** ("portador de espermatozoides" en griego). En muchas especies que producen espermatóforos, como algunos escorpiones, saltamontes y salamandras, no se efectúa cópula. El macho simplemente suelta un espermatóforo en el suelo; si una hembra lo encuentra, se fecunda a sí misma insertándolo en su cavidad reproductora, donde se liberan los espermatozoides que contiene (FIGURA 40-9b).

FIGURA 40-10 Competencia por las hembras
Al salir del estado de hibernación, masas de serpientes jarreteras macho compiten para aparearse con las hembras.

Entre los animales que copulan para reproducirse, los machos compiten por las hembras. Esta competencia ha propiciado el desarrollo evolutivo de una amplia variedad de estructuras y comportamientos reproductores seleccionados sexualmente. Un ejemplo espectacular de competencia para el acceso a parejas se da a principios de la primavera en los bosques occidentales de Canadá. Conforme la nieve se derrite y el suelo se calienta, las serpientes jarreteras macho salen de sus guaridas subterráneas donde invernaron en grupos de millares. Posteriormente salen las hembras y se inicia un frenesí de apareamiento. En un mar de miles de cuerpos que se retuercen, cada hembra atrae a docenas o incluso centenares de machos (FIGURA 40-10). Sólo uno de ellos logrará copular con ella.

Para que la fecundación ocurra, un óvulo maduro debe estar presente. Muchos caracoles e insectos hembra almacenan espermatozoides dentro de sus cuerpos durante días o incluso meses, lo que garantiza una provisión para cuando los óvulos estén listos. En los mamíferos, los cuales no almacenan espermatozoides, el comportamiento de apareamiento debe estar sincronizado. A menudo la hembra experimenta la **ovulación** (cuando el ovario libera un óvulo) sólo durante ciertos momentos del año y da señales de que está lista para aparearse mediante feromonas y comportamientos. La cópula misma provoca la ovulación en unos cuantos mamíferos, como el conejo. Los zoólogos que intentaban criar un rinoceronte de Sumatra hembra (véase la figura 40-9a), una especie que no se había logrado reproducir en cautiverio durante un siglo, finalmente descubrieron que su ovulación era estimulada por el cortejo; fue así como nacieron dos rinocerontes. Los esperma-

tozoides de rinocerontes de Sumatra, almacenados en un zoológico congelado en Cincinnati, Ohio, algún día ayudarán a recuperar esta especie en peligro crítico de extinción. Sólo existen unos 300 ejemplares en vida silvestre, en parte porque sus cuernos son muy preciados como afrodisíacos.

40.2 ¿CÓMO FUNCIONA EL APARATO REPRODUCTOR HUMANO?

Los seres humanos, al igual que otros mamíferos, tienen sexos separados, copulan y se reproducen por fecundación interna. Las **gónadas** de los mamíferos son órganos en pares que producen células sexuales: espermatozoides y óvulos. Aunque casi todas las especies de mamíferos se reproducen únicamente durante ciertas épocas del año y, por lo tanto, sólo producen espermatozoides y óvulos en ese momento, la reproducción humana no está restringida a ciertas temporadas. Los hombres producen espermatozoides de forma más o menos continua y las mujeres *ovulan* (liberan un óvulo maduro) aproximadamente una vez al mes.

La capacidad para reproducirse se inicia en la pubertad

La maduración sexual tiene lugar en la **pubertad**, una etapa de desarrollo caracterizada por el rápido crecimiento y la aparición de caracteres sexuales secundarios en ambos sexos. Aunque la pubertad comienza por lo general a partir de los 13 años, en ocasiones se inicia a una edad tan temprana como los 8 años o tan avanzada como los 15 años. Durante la pubertad, la maduración del cerebro en ambos sexos hace que el hipotálamo aumente la producción de la **hormona liberadora de gonadotropinas** (GnRH), la cual estimula a la hipófisis anterior para que produzca **hormona luteinizante (LH)** y la **hormona estimuladora de folículos (FSH)**. Estas hormonas estimulan a los testículos para que produzcan más hormona sexual masculina, la **testosterona**, y a los ovarios para que produzcan más hormona sexual femenina, el **estrógeno**. En respuesta al aumento de testosterona, los hombres desarrollan caracteres sexuales secundarios: el **pene** (que deposita los espermatozoides en la vagina) y los *testículos* crecen; aparece el vello en el pubis y las axilas, así como en el rostro; la laringe se aumenta de tamaño (lo que hace la voz más grave); además, aumenta el desarrollo muscular. En respuesta al aumento de estrógeno (y otras hormonas que surgen en la pubertad), en las mujeres crecen las mamas, aparece vello en el pubis y las axilas, y aparece la menstruación. También ocurren cambios en el cerebro, todo lo cual hace que ésta sea una etapa interesante tanto para los adolescentes como para sus padres.

El tracto reproductor masculino incluye los testículos y las estructuras accesorias

El aparato reproductor masculino (tabla 40-1 y FIGURA 40-11) consiste en los **testículos** y las estructuras accesorias que secretan sustancias para activar y nutrir a los espermatozoides, almacenarlos y llevarlos al tracto reproductor femenino.

Los espermatozoides se producen en los testículos

Los testículos, que producen tanto espermatozoides como hormonas sexuales masculinas, se encuentran en el **escroto**, una bolsa que cuelga en el exterior de la cavidad principal del cuerpo. Esta ubicación mantiene a los testículos a una temperatura aproximadamente 1 a 2°C más baja que el centro del cuerpo, lo cual es óptimo para el desarrollo de los espermatozoides. Casi todo el volumen de los testículos está lleno de

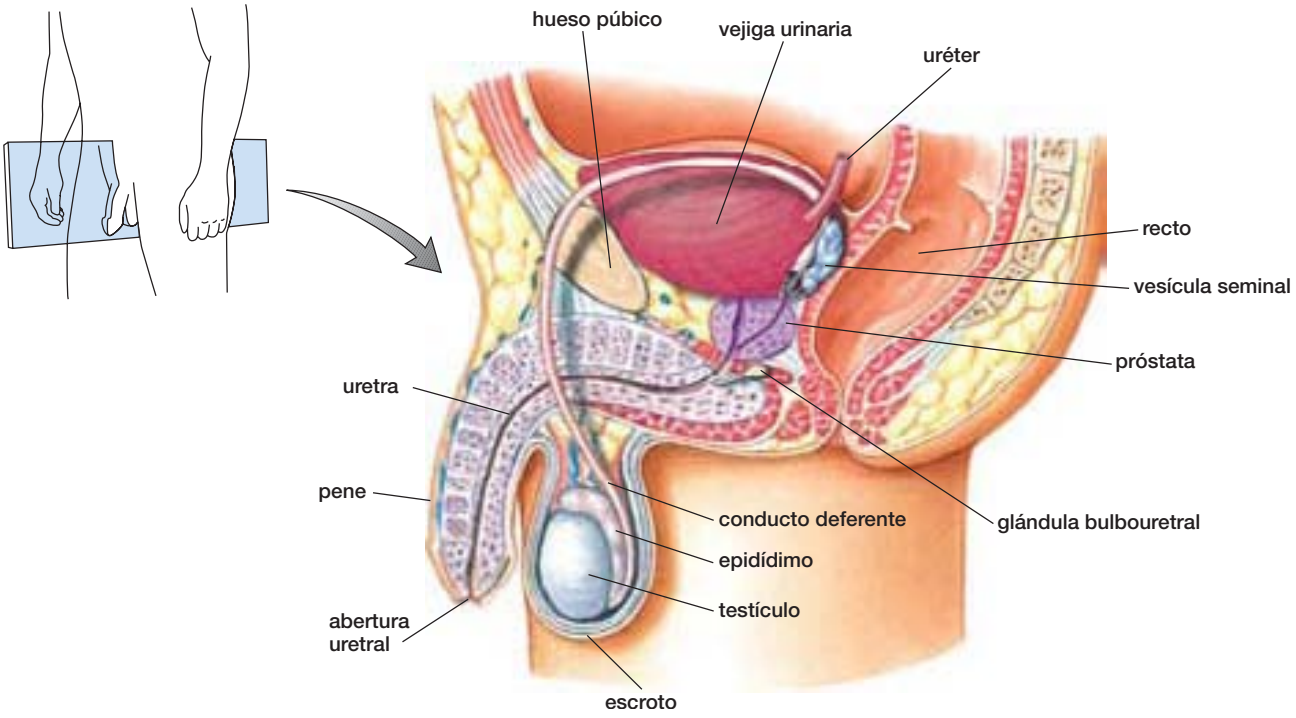


FIGURA 40-11 El tracto reproductor masculino humano
Los testículos penden bajo la cavidad abdominal, en el escroto. Los espermatozoides pasan de los testículos al epidídimo y de ahí, a través del conducto deferente y la uretra, hasta la punta del pene. En el camino, se agregan líquidos de las vesículas seminales, las glándulas bulbouretrales y la próstata.

Tabla 40-1 El tracto reproductor masculino

Estructura	Función
Testículos (gónadas masculinas)	Producen espermatozoides y testosterona
Epidídimo y conducto deferente (conductos)	Almacenan espermatozoides; conducen espermatozoides de los testículos al pene
Uretra (conducto)	Lleva el semen del conducto deferente y la orina de la vejiga urinaria a la punta del pene
Pene	Deposita espermatozoides en el tracto reproductor femenino
Vesículas seminales (glándulas)	Secretan líquido que forma el semen
Próstata (glándula)	Secreta líquido que forma el semen
Glándulas bulbouretrales	Secretan líquido que forma el semen

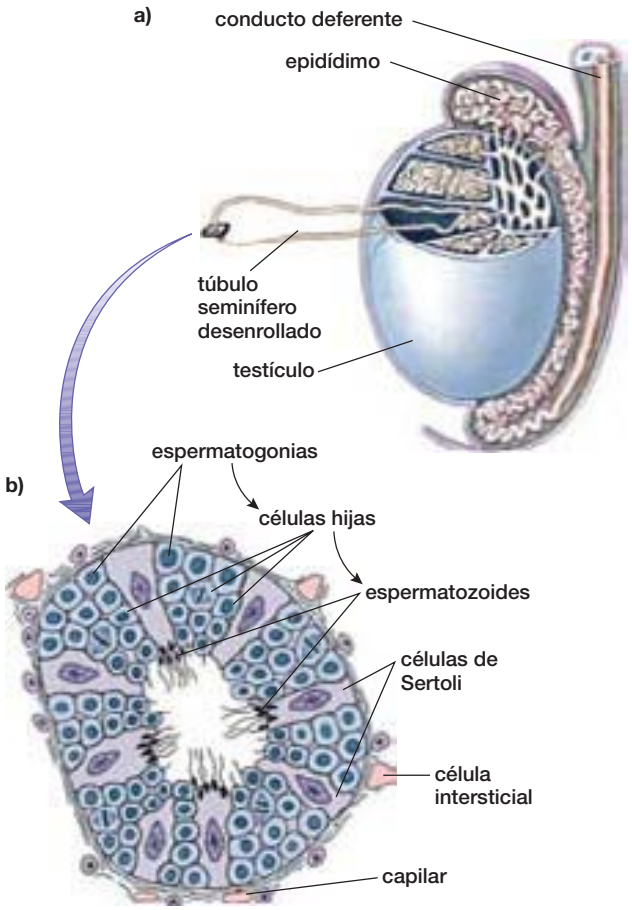


FIGURA 40-12 Estructuras que intervienen en la espermatogénesis
a) Corte del testículo que muestra la ubicación de los túbulos seminíferos, el epidídimo y el conducto deferente. **b)** Corte transversal de un túbulo seminífero. Las paredes de los túbulos están recubiertas de células de Sertoli y espermatogonias que experimentan meiosis. Los espermatozoides maduros se liberan hacia la cavidad central. Las células intersticiales producen testosterona.

túbulos seminíferos enrollados y huecos, que es donde se producen los espermatozoides (FIGURA 40-12a). En los espacios entre los túbulos hay **células intersticiales**, que sintetizan la hormona masculina testosterona (FIGURA 40-12b).

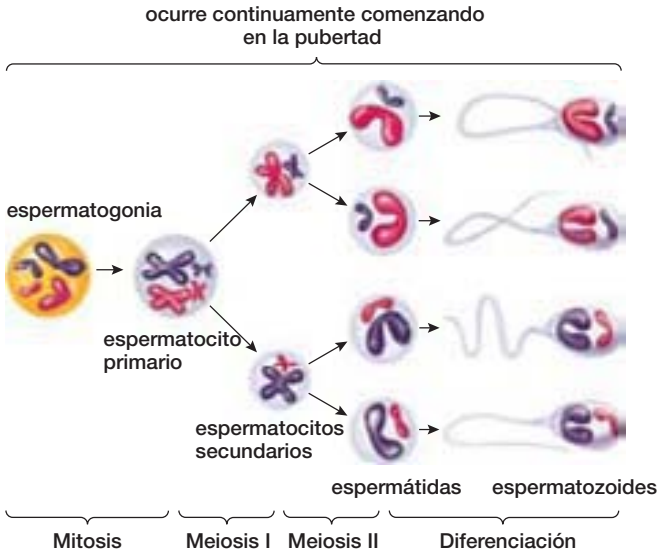


FIGURA 40-13 Los espermatozoides se producen por meiosis
Las espermatogonias crecen y se diferencian para producir espermatocitos, los cuales experimentan meiosis y luego diferenciación para producir espermatozoides haploides. Aunque por claridad sólo se muestran cuatro cromosomas, en el ser humano el número diploide es 46 y el número haploide 23.

En el interior de cada túbulo seminífero, junto a la pared, están las **espermatogonias**, las células diploides de las cuales surgirán los espermatozoides, y las *células de Sertoli*, mucho más grandes (figura 40-12b). Las espermatogonias se dividen por mitosis, lo que garantiza un abasto constante de ellos y forma células que experimentan **espermatogénesis** para producir espermatozoides haploides (FIGURA 40-13).

La espermatogénesis inicia con el crecimiento y diferenciación de espermatogonias para formar **espermatocitos primarios**, que son células diploides grandes. Luego, los espermatocitos primarios sufren meiosis (proceso descrito en el capítulo 11). Al término de la meiosis I, cada espermatocito primario da origen a dos **espermatocitos secundarios** haploides. Cada espermatocito secundario se divide otra vez, durante la meiosis II, para producir dos **espermátidas**, de manera que se obtienen cuatro espermátidas por cada espermatocito primario. Las espermátidas sufren reordenaciones radicales de sus componentes celulares al diferenciarse para convertirse en espermatozoides.

Las espermatogonias, los espermatocitos y las espermátidas están envueltos en pliegues de las **células de Sertoli**, las cuales regulan el proceso de espermatogénesis y nutren a los espermatozoides en desarrollo. Durante la espermatogénesis, los espermatozoides en desarrollo migran hacia la cavidad central del túbulo seminífero, del que salen como espermatozoides maduros (véase la figura 40-12b).

Un espermatozoide humano (FIGURA 40-14) es distinto de todas las demás células del cuerpo. Casi todo el citoplasma desaparece para dejar un núcleo haploide que casi llena toda la *cabeza* de la célula espermática. Encima del núcleo hay un lisosoma especializado llamado **acrosoma**. El acrosoma contiene enzimas que se necesitarán para disolver las capas protectoras que rodean al óvulo, de manera que el espermatozoide pueda entrar y fecundarlo. Detrás de la cabeza está el

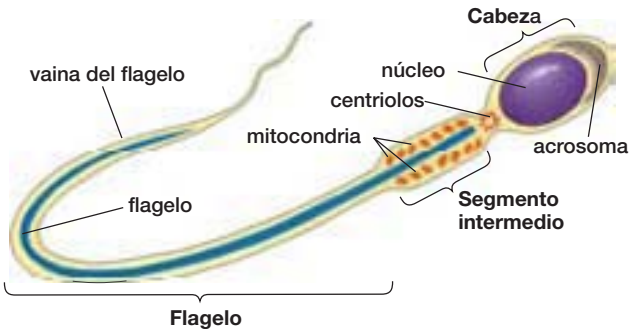


FIGURA 40-14 Espermatozoide humano
Un espermatozoide maduro es una célula equipada únicamente con lo esencial: un núcleo haploide, el acrosoma (que contiene enzimas para digerir las barreras que rodean al óvulo), mitocondrias para producir energía y un flagelo largo para la locomoción.

proporcionan la energía necesaria para mover el *flagelo*. Las sacudidas de la cola, que en realidad es un flagelo largo, impulsan al espermatozoide por el tracto reproductor femenino.

En el ser humano y otros mamíferos, la espermatogénesis no comienza sino hasta la pubertad, cuando el hipotálamo libera GnRH, que estimula a la hipófisis anterior para que produzca LH y FSH. La LH estimula a las células intersticiales de los testículos para que produzcan testosterona (**FIGURA 40-15**). La testosterona, en combinación con la FSH, estimula a las células de Sertoli para realizar la espermatogénesis. Al igual que muchos procesos fisiológicos, la producción de espermatozoides está regulada por retroalimentación negativa. La testosterona, al estimular la espermatogénesis, también inhibe la liberación de GnRH por parte del hipotálamo y de LH y FSH por parte de la hipófisis, lo que limita la producción posterior de testosterona y la producción de espermatozoides. Las células de Sertoli, cuando son estimuladas por la FSH y la testosterona, no sólo promueven la espermatogénesis, sino que secretan la hormona *inhibina*, que también inhibe la producción de GnRH, LH y FSH (figura 40-15). Este proceso de retroalimentación mantiene la producción de espermatozoides a niveles relativamente constantes a lo largo de la vida reproductiva del hombre.

Las estructuras accesorias producen semen y conducen a los espermatozoides al exterior del cuerpo

Los túbulos seminíferos se fusionan para formar el **epidídimo**, un solo tubo continuo, largo y plegado (véase la figura 40-12a). El epidídimo lleva al **conducto deferente**, que saca los espermatozoides del escroto. Casi todos los cientos de millones de espermatozoides que se producen cada día en el cuerpo de un hombre se almacenan en el conducto deferente y en el epidídimo. El conducto deferente se une a la **uretra**, que conecta la vejiga con la punta del pene. Este camino final común lo comparten, en diferentes momentos, tanto la orina (durante la micción) como los espermatozoides (durante la eyaculación, un reflejo causado por estimulación sexual que expulsa a los espermatozoides por el pene).

El líquido eyaculado del pene, llamado **semen**

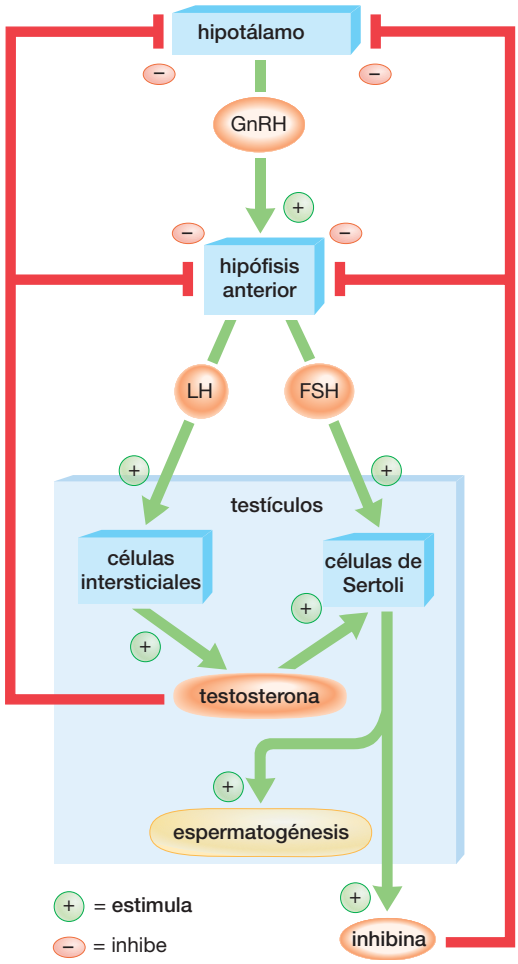


FIGURA 40-15 Control hormonal de la espermatogénesis
La GnRH del hipotálamo estimula a la hipófisis anterior para que libere LH y FSH. La LH estimula a las células intersticiales para que produzcan testosterona. La testosterona y la FSH estimulan a las células de Sertoli y a las espermatogonias para que realicen espermatogénesis. Las células de Sertoli liberan inhibina, la cual, junto con la testosterona, inhibe la liberación ulterior de FSH y LH para establecer un ciclo de retroalimentación negativa que mantiene casi constante la tasa de espermatogénesis y la concentración de testosterona en la sangre. PREGUNTA: ¿Por qué las inyecciones de testosterona suprimen la producción de espermatozoides?

por las **vesículas seminales** constituye aproximadamente el 60 por ciento del semen. Este líquido es rico en fructosa, que aporta energía para los espermatozoides; también contiene prostaglandinas (véase el capítulo 37) que estimulan contracciones uterinas, las cuales ayudan a transportar a los espermatozoides por el tracto reproductor femenino. Su pH levemente alcalino protege a los espermatozoides del ambiente ácido de la vagina que, de otra forma, inhibiría la actividad espermática. La **próstata** produce una secreción rica en nutrimentos, la cual constituye alrededor del 30 por ciento del volumen del semen e incluye enzimas que aumentan la fluidez de éste después de que es liberado en la vagina, permitiendo que los espermatozoides se desplacen más libremente. Las **glándulas bulbouretrales**

Tabla 40-2 Tracto reproductor femenino

Estructura	Función
Ovarios (gónadas femeninas)	Producen óvulos, estrógeno y progesterona
Fimbria (abertura del conducto uterino)	Sus cilios empujan al óvulo hacia el oviducto
Tubos uterinos	Conducen al óvulo al útero; sitio de la fecundación
Útero	Cámara muscular donde se desarrolla el feto
Cérvix	Cierra el extremo inferior del útero durante el embarazo
Vagina	Receptáculo para el semen; canal de nacimiento

El tracto reproductor femenino comprende los ovarios y las estructuras accesorias

El tracto reproductor femenino está contenido casi en su totalidad dentro de la cavidad abdominal (tabla 40-2 y FIGURA 40-16). Consiste en un par de gónadas, llamadas **ovarios** (FIGURA 40-17a), y estructuras accesorias que reciben a los espermatozoides, los conducen hacia el óvulo y nutren al **embrión** en desarrollo.

Los óvulos se producen en los ovarios

La **ovogénesis**, que es la formación de óvulos, inicia durante el desarrollo fetal con la formación de células precursoras de óvulos llamadas **ovogonias**. Hacia el final del tercer mes de desarrollo del feto, las ovogonias se han dividido por mitosis y han crecido para convertirse en **ovocitos primarios**. Al continuar el desarrollo del feto, se inicia la meiosis en todos los ovocitos primarios, pero se detiene en la profase de la meiosis I. En el momento de nacer, la mujer ya cuenta con un abasto de ovocitos primarios suficiente para toda la vida. Los ovarios contienen inicialmente cerca de dos millones de ovocitos primarios, de los cuales muchos mueren, de forma que al llegar a la pubertad sólo quedan cerca de 400,000. Esa cantidad es más que suficiente, pues sólo unos cuantos ovocitos reanudan la meiosis durante cada mes del periodo reproductivo de la mujer, a partir de la pubertad, que se presenta alrededor de los 13 años, hasta la *menopausia*, alrededor de los 50.

Alrededor de cada ovocito hay una capa de células mucho más pequeñas que nutren a la célula en desarrollo y además secretan hormonas sexuales femeninas. Juntos, el ovocito y estas células accesorias constituyen un **folículo** (FIGURA 40-17b). Durante el ciclo menstrual, hormonas de la hipófisis estimulan el desarrollo de una docena o más de folículos, aunque normalmente sólo uno de ellos madura totalmente. El ovocito primario completa su primera división meiótica (que se detuvo durante el desarrollo) y produce un solo **ovocito secundario** y

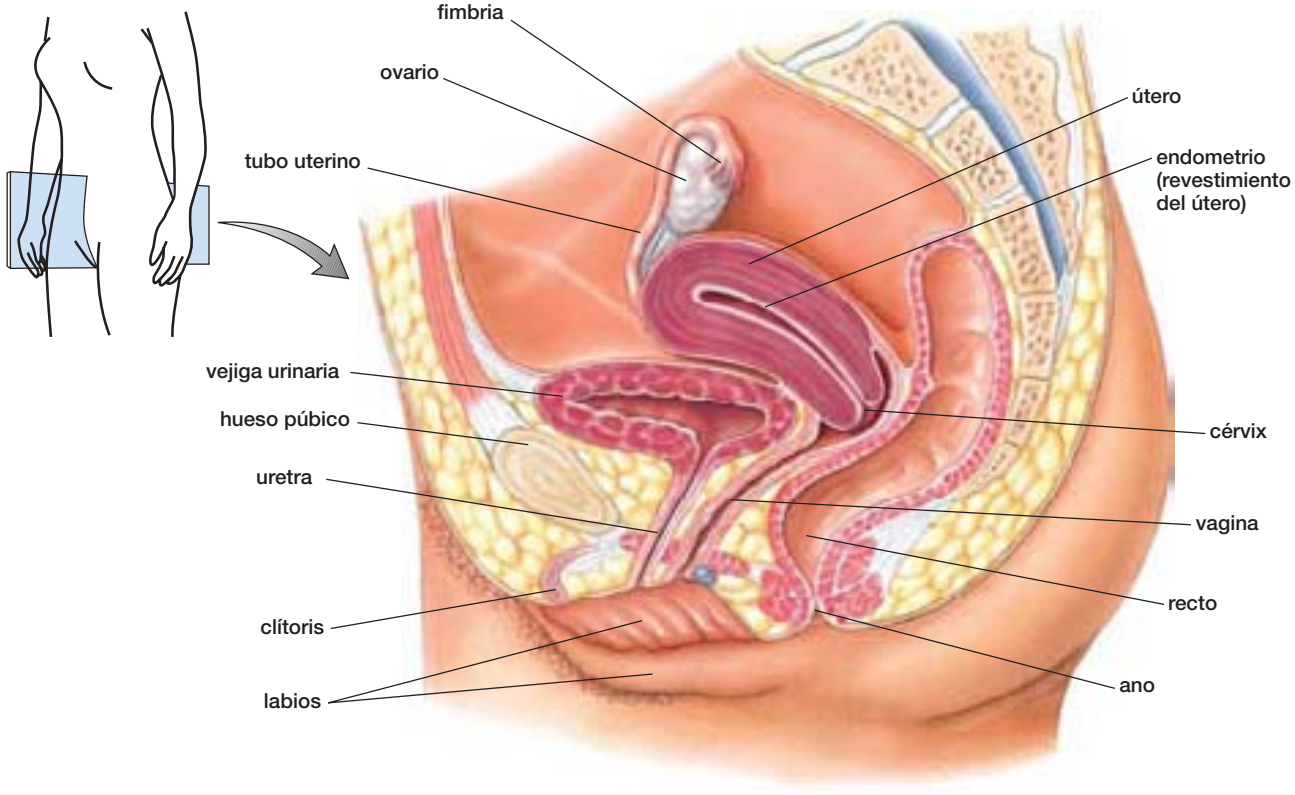


FIGURA 40-16 El tracto reproductor femenino humano
Los óvulos se producen en los ovarios y entran en el tubo uterino. El espermatozoide y el óvulo normalmente se encuentran en el tubo uterino, donde se efectúa la fecundación y el desarrollo inicial. El óvulo fecundado se une al endometrio (el revestimiento del útero), donde continúa el desarrollo. La vagina recibe los espermatozoides y sirve como canal de parto.

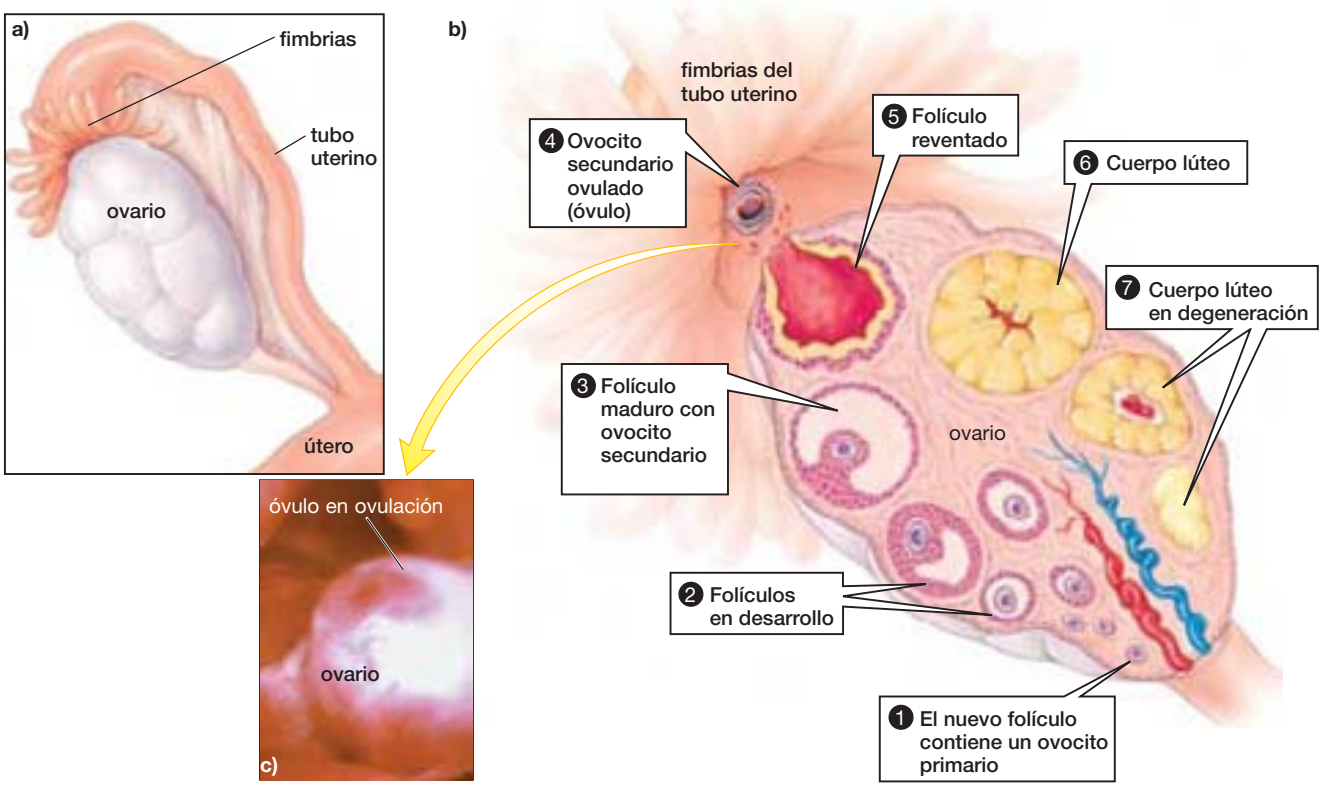


FIGURA 40-17 Estructuras que intervienen en la ovogénesis
a) Vista externa del ovario y el tubo uterino. **b)** Desarrollo de folículos en un ovario, representado en una secuencia temporal (según el giro de las manecillas del reloj, partiendo del extremo inferior derecho). ① Un ovocito primario comienza a desarrollarse dentro de un folículo. ②, ③ El folículo crece, suministrando tanto hormonas como nutrimentos al ovocito en crecimiento. ④ Durante la ovulación, el óvulo irrumpe a través de la pared del ovario, rodeado por algunas células del folículo. ⑤, ⑥, ⑦ Las células del folículo restantes se convierten en el cuerpo lúteo, que secreta hormonas. Si no hay fecundación, el cuerpo lúteo se desintegra después de unos cuantos días. **c)** Dentro del ovario, un folículo libera un óvulo.

un **cuerpo polar** (FIGURA 40-18). Mientras tanto, las células accesorias del folículo se multiplican y secretan **estrógeno**. Al madurar el folículo, crece y finalmente irrumpe de la superficie del ovario para liberar el ovocito secundario en un proceso denominado *ovulación* (FIGURA 40-17c). Luego, el ovocito secundario viaja por el tubo que sale del ovario, llamado **tubo uterino** (que también se conoce como *oviducto* o *trompa de Falopio*). Por conveniencia, nos referiremos al ovocito secundario ovulado como el *óvulo*. Si el óvulo es fecundado, esto por lo general ocurre en el tubo uterino.

Algunas de las células del folículo acompañan al óvulo, pero casi todas permanecen en el ovario. Estas células crecen y se vuelven glandulares para formar el **cuerpo lúteo** (véase la FIGURA 40-17b), el cual secreta tanto estrógeno como una segunda hormona, **progesterona**. Si no hay fecundación, el cuerpo lúteo se desintegra unos cuantos días después.

Un hombre produce continuamente grandes cantidades de espermatozoides. En contraste, la mujer no produce gametos maduros (es decir, no ovula) si su útero no está debidamente preparado para recibir y nutrir al óvulo fecundado. El **ciclo menstrual** asegura que la ovulación se coordine con la preparación del útero, y está regulado por interacciones hormonales entre el hipotálamo, la hipófisis anterior y los ovarios, se describe en "De cerca: El control hormonal del ciclo menstrual".

Las estructuras accesorias incluyen los tubos uterinos, el útero y la vagina

Cada ovario está alojado en el extremo abierto del tubo uterino (véase la FIGURA 40-17a), el cual tiene una orla de "dedos" ciliados llamados *fimbrias* que casi rodean al ovario. Los cilios crean una corriente que impulsa al nuevo óvulo hacia el tubo uterino, adonde los espermatozoides llegan luego de que ocurre la cópula. La fecundación por lo regular se efectúa dentro del tubo uterino. El **cigoto**, como se denomina al óvulo fecundado, baja por el tubo uterino impulsado por cilios batientes y llega al **útero** (también llamado *matriz*). Ahí se desarrollará durante nueve meses. La pared del útero tiene dos capas que corresponden a su doble función: nutrir al embrión en desarrollo y hacer posible el nacimiento del bebé. El revestimiento interior, o **endometrio**, tiene gran cantidad de vasos sanguíneos. Este revestimiento formará la contribución de la madre a la **placenta**, la estructura que transfiere oxígeno, dióxido de carbono, nutrimentos y desechos entre la madre y el **feto** (un término que describe las etapas posteriores del desarrollo de los mamíferos), como veremos en el capítulo 41. La pared muscular exterior del útero se expande gradualmente conforme el nuevo ser en desarrollo crece, y luego se contrae con fuerza durante el parto para expulsar al bebé al mundo exterior.

Los folículos en desarrollo secretan estrógeno, que estimula al endometrio para que genere una extensa red de vasos

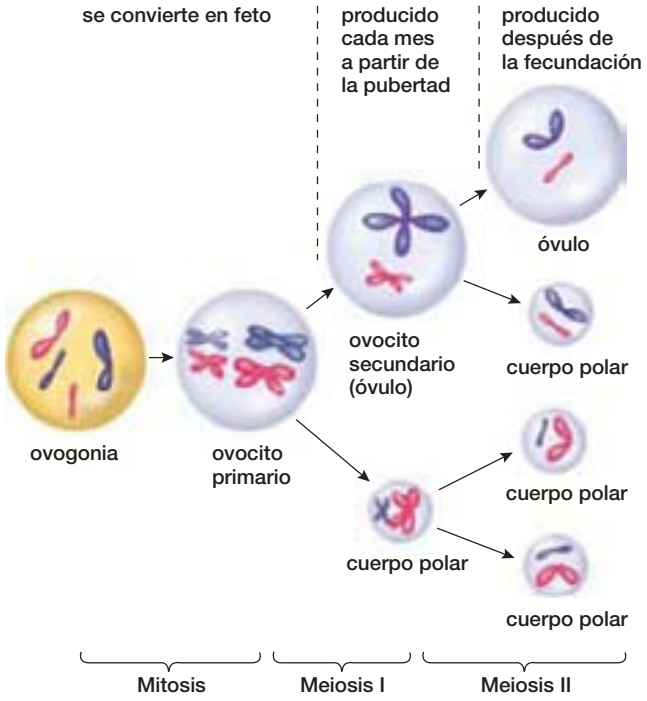


FIGURA 40-18 Los óvulos se forman por meiosis
La ovogonia experimenta mitosis y crece para formar el ovocito primario. En la meiosis I, casi todo el citoplasma está incluido en el ovocito secundario, dejando un pequeño cuerpo polar que contiene cromosomas, pero poco citoplasma. Durante la meiosis II, casi todo el citoplasma del ovocito secundario queda incluido en el óvulo, y un segundo cuerpo polar pequeño desecha los otros cromosomas "sobrantes". El primer cuerpo polar también podría sufrir la segunda división meiótica. En el ser humano, la meiosis II sólo se efectúa cuando un espermatozoide penetra en el óvulo.

sanguíneos y glándulas productoras de nutrimentos. Después de la ovulación, el estrógeno y la progesterona liberados por el cuerpo lúteo promueven el crecimiento ulterior del endometrio hasta formar un grueso envoltorio para el embrión. Así, de ser fecundado un óvulo, encontrará un entorno propicio para el crecimiento. Si el óvulo no se fecunda, el cuerpo lúteo se desintegra, los niveles de estrógeno y de progesterona declinan y el endometrio crecido también se desintegra. El útero se contrae (en ocasiones provocando dolores menstruales) para expulsar el tejido endometrial sobrante. Esto provoca un flujo de tejidos y sangre, que se conoce como **menstruación** (del latín *mensis*, que significa "mes").

El extremo exterior del útero casi está cerrado por el **cérvix** (o cuello de la matriz), un anillo de tejido conectivo que rodea una pequeña abertura. El cérvix retiene al bebé en desarrollo en el útero y se expande sólo cuando se inicia el parto. Esto permite que la abertura central se expanda para que el bebé pueda pasar. Más allá del cérvix está la **vagina**, que se abre al exterior. La vagina mantiene un pH ácido para reducir la posibilidad de infecciones y sirve como receptáculo para el pene durante el coito y como canal para el nacimiento (véase la figura 40-16).

La cópula permite la fecundación interna

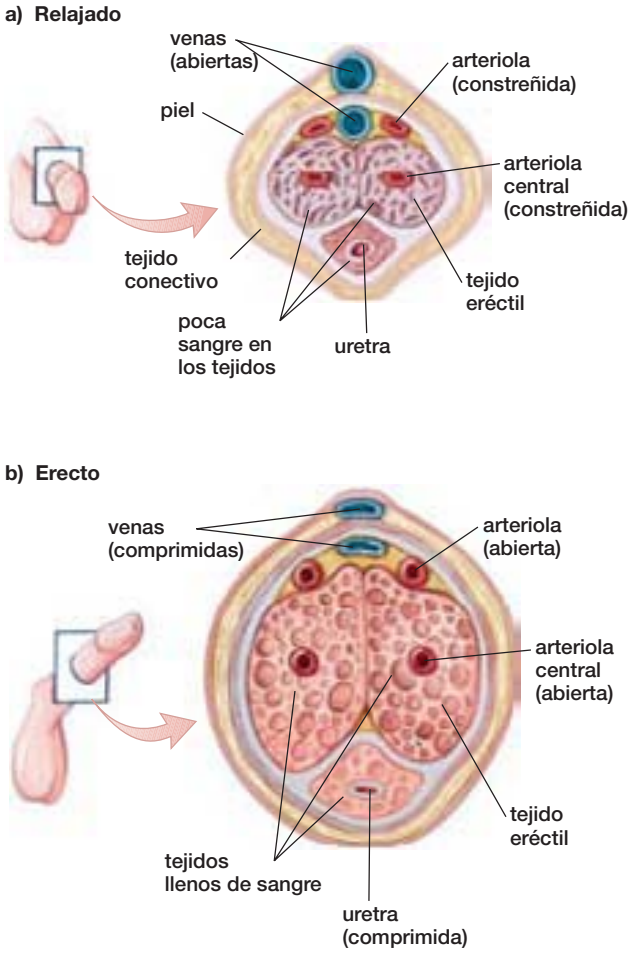


FIGURA 40-19 Cambios en el flujo de sangre dentro del pene causan erección
a) Normalmente, los músculos lisos que rodean a las arteriolas que desembocan en el pene están contraídos y limitan el flujo de sangre. **b)** Durante la excitación sexual, estos músculos se relajan y fluye sangre hacia los espacios dentro del pene. Al hincharse, el pene comprime las venas que salen de él, lo que aumenta la presión interna y hace que éste se alargue y se ponga firme.

entorno del tracto reproductor femenino. Durante la cópula, el pene se inserta en la vagina, donde se liberan los espermatozoides. Estos últimos nadan hacia arriba por el tracto reproductor femenino, desde la vagina, a través de la abertura del cérvix al útero y hacia los tubos uterinos. Si la mujer ovuló uno o dos días antes, los espermatozoides se encontrarán con un óvulo en uno de los tubos uterinos. Sólo un espermatozoide logrará fecundar al óvulo e iniciar el desarrollo de un nuevo ser humano.

Durante la cópula, se depositan espermatozoides en la vagina de la mujer

El papel del hombre en la cópula inicia con la erección del pene. Antes de la erección, el pene está relajado (flácido) porque las arteriolas que lo abastecen de sangre están constreñidas y sólo permiten un pequeño flujo de sangre (**FIGURA 40-19a**

DE CERCA El control hormonal del ciclo menstrual

El ciclo menstrual es controlado por hormonas del hipotálamo (GnRH), la hipófisis o pituitaria anterior (FSH y LH) y los ovarios (estrógeno y progesterona). El ciclo se inicia con la llegada de la menstruación, ilustrada por la pérdida del endometrio como se muestra en la imagen inferior de la figura E40-1. Desde el punto de vista hormonal, el ciclo menstrual se inicia por la liberación espontánea de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) por parte de las células del hipotálamo (imagen superior). Esta secreción es continua, a menos que otras hormonas la supriman, en especial la progesterona. El ciclo se inicia en el día 1 (que sigue luego del día 28 del ciclo) y es estimulado por el aumento en GnRH que se presenta alrededor del día 28. Sigamos ahora las descripciones del diagrama relacionando los números con la figura E40-1. (Los números están duplicados en la figura cuando la descripción se aplica a varias imágenes).

① La GnRH (imagen superior) estimula a la hipófisis anterior (segunda imagen) para que libere FSH (línea azul) y LH (línea roja). Estos aumentos se observan alrededor del día 28. El endometrio del útero se desprende durante la menstruación (imagen inferior).

② La FSH inicia el desarrollo de varios folículos, los cuales secretan estrógeno, dentro de los ovarios. Bajo la influencia combinada de la FSH, la LH y el estrógeno, los folículos crecen y el ovocito primario dentro de cada folículo comienza a desarrollarse. Por lo general, sólo un folículo completa el desarrollo cada mes.

③ Al crecer el folículo, secreta cantidades cada vez mayores de estrógeno (línea morada, cuarta imagen). Este estrógeno tiene tres efectos. Primero, promueve el desarrollo continuo del folículo y del ovocito primario que contiene (tercera imagen). Segundo, estimula el crecimiento del endometrio del útero (imagen inferior). Tercero, el estrógeno estimula al hipotálamo para que produzca más GnRH (véase la imagen superior).

④ La GnRH estimula un valor máximo de LH (y un pequeño aumento en la FSH) alrededor del día 14 del ciclo. El aumento de LH tiene tres consecuencias importantes. *Primera*, hace que se reanude la meiosis I en el ovocito para formar el ovocito secundario y el primer cuerpo polar.

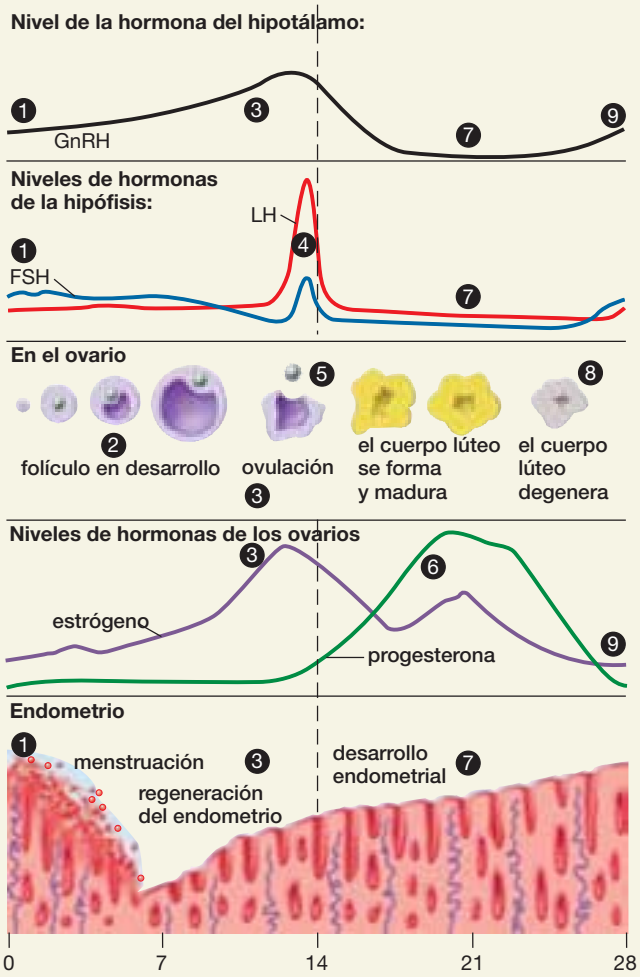


FIGURA E40-1 Control hormonal del ciclo menstrual
El ciclo menstrual es resultado de interacciones entre las hormonas del hipotálamo, la hipófisis anterior y los ovarios. Los números encerrados en círculos se refieren a las interacciones explicadas en el texto.

arteriolas). Al hincharse estos *tejidos eréctiles*, comprimen las venas que drenan el pene (FIGURA 40-19b). La presión sanguínea aumenta y provoca una erección. Una vez que el pene se inserta en la vagina, los movimientos estimulan todavía más a los receptores táctiles del pene, que provocan la eyaculación. La *eyaculación* se presenta cuando los músculos que rodean al epidídimo, el conducto deferente y la uretra se contraen y expulsan el semen del pene hacia la vagina. Aunque existe una gran variabilidad, en promedio se eyaculan 3 o 4 mililitros de semen, que contienen unos 300 millones de espermatozoides. El *orgasmo masculino* causa la eyaculación y una sensación intensa de placer y liberación de tensión.

En la mujer la excitación sexual hace que aumente el flujo sanguíneo en la vagina, en un par de pliegues de tejido llamados **labios** y en el **clítoris**, una pequeña estructura situada justo enfrente de la vagina (véase la figura 40-16). El clítoris, que se deriva del mismo tejido embrionario que la punta del pene, se inunda de sangre y presenta erección. La estimulación por parte del pene da como resultado el *orgasmo femenino*, una serie de contracciones rítmicas de la vagina y el útero acompañadas por sensaciones de placer. El orgasmo femenino no es necesario para la fecundación.

El contacto íntimo durante la cópula crea una situación en la que se pueden transmitir fácilmente organismos patógenos, como se describe en "Guardián de la salud: Enfermedades de transmisión sexual".

Durante la fecundación, los núcleos del espermatozoide y del óvulo se unen

Tanto los espermatozoides como los óvulos viven apenas unos días, así que la fecundación puede efectuarse sólo si la cópula ocurre dentro del plazo comprendido entre dos días antes y dos días después de la ovulación. Cuando el óvulo sale del ovario, está rodeado por células del folículo. Estas células, que ahora reciben el nombre de **corona radiada**, y una capa interna gelatinosa, la **zona pelúcida** (que significa "área clara"), forman una barrera entre los espermatozoides y el óvulo (FIGURA 40-20a). Investigaciones recientes apoyan la

⑤ *Segunda*, el incremento de LH hace que el folículo tenga un crecimiento explosivo final que culmina en la ovulación. *Tercera*, transforma el residuo del folículo en el cuerpo lúteo.

⑥ El cuerpo lúteo secreta progesterona (línea verde) y estrógeno (línea morada).

⑦ La combinación de estrógeno y progesterona inhibe la producción de GnRH y reduce la liberación de FSH y LH impidiendo el desarrollo de más folículos. Simultáneamente, el estrógeno y la progesterona estimulan al endometrio para que desarrolle una red de vasos sanguíneos y glándulas productoras de nutrimentos. El endometrio llega a alcanzar un espesor de unos 4 milímetros.

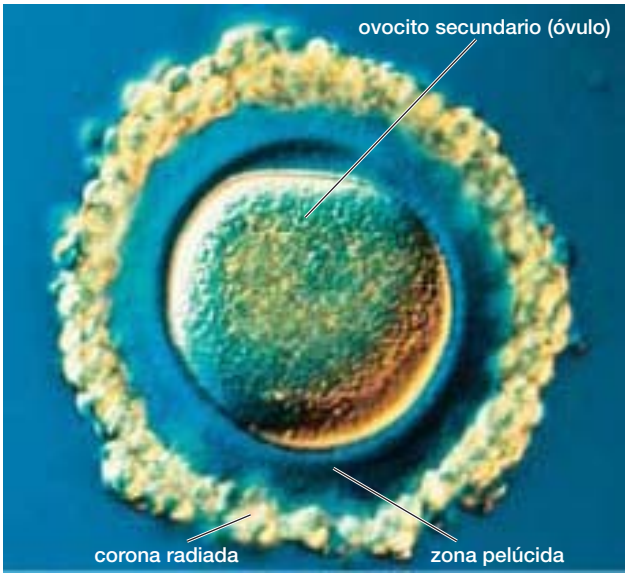
⑧ Si no hay embarazo, el cuerpo lúteo comienza a desintegrarse aproximadamente 12 días después de la ovulación. La causa de esta desintegración es el cuerpo lúteo mismo, que secreta la progesterona que, a la vez, detiene la secreción de LH. Como el cuerpo lúteo sólo puede persistir mientras reciba estímulo de la LH (o por una hormona similar liberada por el embrión en desarrollo, como veremos más adelante), prácticamente induce su propia destrucción, en una especie de retroalimentación negativa.

⑨ Una vez desaparecido el cuerpo lúteo, los niveles de estrógeno y progesterona se desploman. Privado de la estimulación del estrógeno y la progesterona, el endometrio también muere en unos cuantos días, y su sangre y sus tejidos constituyen el flujo menstrual que se inicia el primer día del nuevo ciclo. El nivel reducido de progesterona en circulación deja de inhibir al hipotálamo, de manera que se reanuda la liberación espontánea de GnRH. Esta liberación estimula, a la vez, la liberación de FSH y LH (de regreso al paso ①) e inicia el desarrollo de un nuevo conjunto de folículos para recomenzar el ciclo.

Durante el embarazo, el embrión mismo evita que se presenten estos cambios. Poco después de que la esfera de células (formada por el óvulo fecundado al dividirse) se incrusta en el endometrio, comienza a secretar una hormona parecida a la LH, llamada *gonadotropina coriónica* (CG). Esta hormona viaja por el torrente sanguíneo hasta el ovario, donde impide la desintegración del cuerpo lúteo. El cuerpo lúteo sigue secretando estrógeno y progesterona por varios meses, y el endometrio sigue creciendo y nutriendo al embrión. El embrión libera tanta CG que la hormona se excreta en la orina de la madre. De hecho, la mayor parte de las pruebas de embarazo se basan en la detección de CG en la orina para determinar si hay embarazo o no.

Aunque una retroalimentación negativa regula los niveles de la mayoría de las hormonas, los niveles hormonales del ciclo menstrual se regulan por retroalimentación tanto negativa como positiva. Durante la primera mitad del ciclo, las hormonas FSH y LH estimulan a los folículos para que produzcan estrógeno. Los niveles altos de estrógeno *estimulan* la máxima liberación de FSH y LH a la mitad del ciclo (retroalimentación positiva). Durante la segunda mitad del ciclo, el estrógeno y la progesterona *inhiben* la liberación de FSH y LH (retroalimentación negativa). La retroalimentación positiva inicial hace que las concentraciones de hormonas alcancen niveles altos y la retroalimentación negativa posterior vuelve a "apagar" el sistema, a menos que se presente un embarazo.

a)



b)

FIGURA 40-20 El ovocito secundario y la fecundación
a) Ovocito secundario humano poco después de la ovulación. Los espermatozoides deben abrirse camino por digestión a través de la corona radiada y la zona pelúcida para llegar al ovocito. **b)** Espermatozoides rodean al ovocito, atacando sus barreras defensivas. PREGUNTA: ¿Por qué el ovocito está tan bien protegido por las barreras circundantes?

Las **enfermedades de transmisión sexual (ETS)** se contraen primordialmente a través del contacto sexual. Causadas por virus, bacterias, protistas o artrópodos que infectan los órganos sexuales y el tracto reproductor, las ETS son un problema de salud grave y cada vez de mayor magnitud en todo el mundo.

INFECCIONES BACTERIANAS

La **gonorrea** es una ETS común, también conocida como blenorragia. La bacteria penetra en las membranas que recubren la uretra, el ano, el cérvix, el útero, los tubos uterinos y la garganta. En el hombre, la inflamación de la uretra hace que la micción sea dolorosa y haya una descarga de pus por el pene; en las mujeres, los síntomas a menudo son leves e incluyen flujo vaginal o micción dolorosa. Aunque la gonorrea puede tratarse con antibióticos, muchas personas infectadas tienen síntomas leves o ningún síntoma, por lo que fácilmente pueden diseminar la enfermedad. La gonorrea puede causar esterilidad al bloquear los tubos uterinos con tejido de cicatrización. La bacteria ataca los ojos de los bebés recién nacidos de madres infectadas y en otros tiempos fue una causa importante de ceguera. En la actualidad, casi todos los recién nacidos reciben de inmediato gotas oftálmicas con antibiótico de forma preventiva para matar a la bacteria.

La **sífilis** penetra en las membranas mucosas de genitales, labios, ano o mamas. Puesto que la bacteria de la sífilis no sobrevive mucho tiempo si se expone al aire, se propaga sólo por contacto íntimo. La sífilis inicia con una llaga en el punto de infección y se puede curar con antibióticos. Si no se trata, las bacterias de la sífilis se diseminan por todo el cuerpo, se multiplican y dañan muchos órganos como la piel, los riñones, el corazón y el cerebro, en algunos casos hasta provocar la muerte. La sífilis se puede transmitir al feto durante el embarazo; la piel, los dientes, los huesos, el hígado y el sistema nervioso central de esos bebés podrían sufrir daños.

La **clamidia** causa inflamación de la uretra en los hombres y de la uretra y el cérvix en las mujeres. En muchos casos no hay síntomas obvios, por lo que la infección no es tratada y se propaga. La bacteria de la clamidia puede infectar y bloquear los tubos uterinos y causar esterilidad. Una infección de clamidia causa inflamación de los ojos en bebés de madres infectadas y es una de las principales causas de ceguera en los países en desarrollo.

INFECCIONES VIRALES

El **síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA)** es causado por el virus de inmunodeficiencia humana (VIH), como vimos en el capítulo 36. Se contagia primordialmente por actividad sexual, transfusión de sangre infectada y uso de agujas contaminadas, así como de la madre infectada al hijo recién nacido. El virus VIH ataca al sistema inmunitario y deja a la víctima vulnerable a diversas infecciones, que casi siempre resultan mortales. No hay cura, pero las combinaciones de ciertos fármacos pueden prolongar la vida considerablemente.

El **herpes genital** produce dolorosas vesículas en los genitales y la piel circundante; se transmite primordialmente cuando hay vesículas presentes. El virus del herpes nunca sale del cuerpo y se manifiesta a intervalos impredecibles, posiblemente como respuesta a la tensión. Los medicamentos antivirales reducen la gravedad de los brotes. Las mujeres embarazadas con herpes genital activo pueden transmitir el virus al feto en desarrollo y, en algunos casos, esta enfermedad provoca incapacidad mental o física importantes o parto de un bebé muerto. El herpes también se puede transmitir de la madre al bebé durante el parto.

El **virus del papiloma humano (VPH)** infecta a un 50 por ciento de los individuos sexualmente activos en algún momento de sus vidas. La mayoría no presenta síntomas y se recupera de la infección sin siquiera saber que la tuvo. El virus provoca excrecencias o protuberancias que aparecen en los genitales externos, la vagina, el cérvix o el ano en las mujeres, y en el pene, el escroto, la ingle o los muslos en los hombres. Las verrugas por lo regular desaparecen, o bien, pueden ser extirpadas. El VPH es un problema de salud porque puede provocar cáncer cervical, una enfermedad que cuesta la vida a unas 4000 mujeres cada año en Estados Unidos. En 2006 la Agencia de Fármacos y Alimentos (Food and Drug Administration, FDA) aprobó una vacuna contra las formas de VPH que causan la mayoría de los casos de verrugas genitales y cánceres cervicales. Si se administra a mujeres jóvenes antes de que inicien su vida sexual, la vacuna podría reducir considerablemente los índices de cáncer cervical en el futuro.

INFECCIONES DE PROTISTAS Y ARTRÓPODOS

La **tricomoniasis** es causada por un protista flagelado, que coloniza las membranas mucosas que recubren el tracto urinario y los genitales de hombres y mujeres. Los síntomas son un derrame causado por una inflamación en respuesta al parásito. El protista se propaga mediante el coito, pero también se adquiere usando ropa y artículos de tocador contaminados. Una infección prolongada sin tratamiento produce esterilidad.

Las **ladillas**, también llamadas *piojos púbicos*, son arácnidos microscópicos (parientes de las arañas) que viven y ponen sus huevecillos en el vello púbico. Sus piezas bucales están adaptadas para penetrar en la piel y succionar sangre y líquidos corporales, proceso que causa intenso escozor. Las ladillas no sólo son irritantes, sino también pueden propagar enfermedades infecciosas. Se controlan con una higiene cuidadosa y tratamientos químicos.

hipótesis de que el óvulo humano libera un atrayente químico que incita a los espermatozoides a acercarse.

En el tubo uterino, cientos de espermatozoides llegan al óvulo, rodean a la corona radiada y liberan enzimas de su acrosoma (**FIGURA 40-20b**). Estas enzimas debilitan tanto la corona radiada como la zona pelúcida y permiten que penetre el espermatozoide, impulsado por las contorsiones de su flagelo, hasta el óvulo. Si no hay suficientes espermatozoides, la cantidad de enzimas liberadas no será suficiente y ninguno de los espermatozoides llegará al óvulo. Ésta podría ser la razón por la que la selección natural ha propiciado que se eyaculen tantos espermatozoides. Quizá uno de cada 100,000 llegará al tubo uterino y, de los que lo logran, uno de cada 20 encontrará al óvulo, de manera que sólo unos cuantos centenares de los 300 millones de espermatozoides que se eyacularon participarán en el ataque contra las barreras que rodean al óvulo.

Cuando el primer espermatozoide por fin entra en contacto con la superficie del óvulo, las membranas plasmáticas del óvulo y el espermatozoide se fusionan y la cabeza de este último se introduce en el citoplasma de aquél. Al entrar el espermatozoide, inicia dos cambios vitales en el óvulo: primero, vesículas cercanas a la superficie del óvulo liberan en la zona pelúcida sustancias que la refuerzan e impiden que otros espermatozoides ingresen en el óvulo; segundo, el óvulo sufre una segunda división meiótica y por fin produce un gameto haploide.

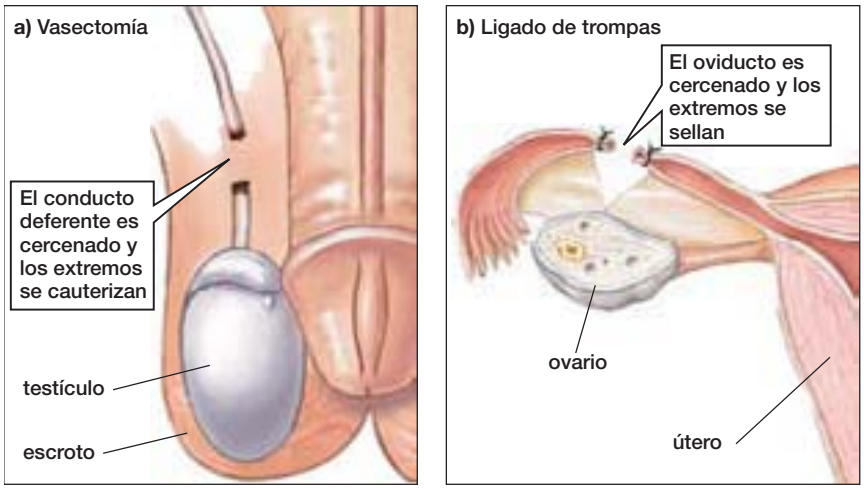


FIGURA 40-21 Esterilización
a) La vasectomía implica extirpar un tramo corto del conducto deferente y cauterizar los extremos cortados. Esto impide que los espermatozoides salgan del cuerpo. **b)** El ligado de trompas en la mujer implica eliminar una pequeña porción del oviducto y ligar los extremos; esto impide que los espermatozoides lleguen al ovocito y que éste llegue al útero.

La fecundación se lleva a cabo cuando los núcleos haploides del espermatozoide y el óvulo se fusionan para formar un núcleo diploide, el cual contiene todos los genes de un nuevo ser humano.

Anomalías en el aparato reproductor masculino o femenino pueden impedir la fecundación. Por ejemplo, un oviducto bloqueado impide que los espermatozoides lleguen al óvulo. Asimismo, los hombres que producen menos de 20 millones de espermatozoides por mililitro de semen por lo regular no pueden fecundar el óvulo de una mujer durante el coito porque son muy pocos los espermatozoides que llegan a él. Si los espermatozoides son normales en sus demás aspectos, estos hombres pueden tener hijos por *inseminación artificial*, en la que una gran cantidad de su semen se inyecta directamente en la vagina o útero durante la ovulación. En la actualidad, algunas parejas buscan ayuda de alta tecnología como la *fecundación in vitro* (véase "Guardián de la salud: Reproducción con alta tecnología").

40.3 ¿CÓMO PODEMOS LIMITAR LA FERTILIDAD?

Durante casi toda la evolución humana, la mortalidad infantil fue elevada y la selección natural favoreció a las personas que producían suficientes hijos como para compensar esa alta tasa de mortalidad. En la actualidad, aunque la generalidad de los seres humanos no necesita tener muchos hijos para asegurar que unos cuantos sobrevivan hasta la edad adulta, aún conservamos los impulsos reproductores. Como resultado, cada año se agregan casi 74 millones de nuevos habitantes a nuestro superpoblado planeta, y el control de las tasas de natalidad se ha convertido en una necesidad ecológica. En el nivel individual, el control de la natalidad permite a las personas planear su familia para ofrecer las mejores oportunidades a sí mismas y a sus hijos.

Históricamente, no ha sido fácil limitar la fertilidad. En el pasado, algunas culturas emplearon técnicas tan ingeniosas como estrambóticas, como tragar espuma de la boca de un camello o colocar estiércol de cocodrilo en la vagina. Sin embargo, desde la década de 1970 se han desarrollado varias técnicas eficaces para la **anticoncepción** elección de un método anticonceptivo siempre debe hacerse con base en una consulta con un profesional de la salud que esté capacitado para brindar mayor información y la mejor asesoría.

La esterilización es un método anticonceptivo permanente

A la larga, el método anticonceptivo que menor esfuerzo requiere es la **esterilización**, en la que se interrumpe el camino que han de recorrer los espermatozoides o el óvulo (**FIGURA 40-21**). En los hombres, el conducto deferente que sale de cada testículo se corta y luego los extremos se cauterizan (es decir, se sellan con calor) en una operación llamada *vasectomía*. Se seguirán produciendo espermatozoides, pero éstos no podrán llegar al pene durante la eyaculación. La cirugía se realiza con anestesia local y no se necesita suturar; no se conocen efectos de la vasectomía sobre la salud ni sobre el desempeño sexual. En un procedimiento novedoso, es posible colocar una abrazadera en el conducto deferente con un pequeño dispositivo de plástico.

La operación de *ligado de trompas de Falopio* o *salpingoclasia*, un poco más compleja, esteriliza a la mujer al cortar sus tubos uterinos u oviductos. Seguirá habiendo ovulación, pero los espermatozoides no podrán llegar al óvulo, ni éste podrá llegar al útero. Una alternativa consiste en insertar unas pequeñas estructuras con forma de resorte en cada oviducto a través de la vagina y el útero. El procedimiento no requiere de incisiones y sólo se aplica anestesia local. El resorte hace que el oviducto forme un tejido de cicatriz que bloquea el paso tanto de espermatozoides como de óvulos. En general, la esterilización es permanente, aunque un cirujano podría realizar una operación delicada y costosa para reconectar los conductos deferentes o los oviductos.

La anticoncepción y el aborto evitan o ponen fin al embarazo

La mayoría de los métodos anticonceptivos temporales evitan la ovulación o crean una barrera entre los espermatozoides y los óvulos. La **tabla 40-3** resume estos métodos.

Como hemos visto, la ovulación se pone en marcha mediante un incremento en el nivel de LH a la mitad del ciclo. Una forma obvia de impedir la ovulación es suprimir la liberación de LH proporcionando un abasto continuo de estrógeno

Tabla 40-3 Técnicas anticonceptivas no permanentes

Método	Técnica y mecanismo	Porcentaje de falla[1]	Protección contra ETS
Métodos hormonales: evitan la ovulación			
Píldora anticonceptiva	Píldora que contiene estrógeno y progesterona sintética (píldora combinada) o sólo progesterona (minipíldora). Se debe tomar diariamente.	0.1% al 3%	Ninguna
Parche anticonceptivo[2]	Un parche que se adhiere a la piel; contiene estrógeno y progesterona sintéticos. Se remplaza semanalmente.	< 1%	Ninguna
Inyección para el control de la natalidad	Inyección de progesterona sintética que impide la ovulación. Se repite a intervalos de tres meses.	0.3%	Ninguna
Anillo vaginal	Anillo de plástico flexible impregnado con estrógeno y progesterona sintéticos. Se inserta en la vagina alrededor del cérvix; se remplaza cada cuatro semanas.	0.3% al 8%	Ninguna
Métodos de barrera: evitan que los espermatozoides y los óvulos se encuentren			
Abstinencia	Decidir no tener actividad sexual.	0%	Excelente
Condón (masculino)	Vaina delgada y desechable de látex que se coloca sobre el pene antes del coito. Impide que los espermatozoides entren en la vagina. Es más efectivo si se lubrica con espermicida.	3% al 15%	Buena
Condón (femenino)	Bolsa de poliuretano lubricada que se inserta en la vagina; impide que los espermatozoides entren en el cérvix. Es más efectivo si se lubrica con espermicida.	5% al 21%	Probablemente buena (se dispone de pocos datos)
Esponja	Esponja desechable suave, con forma de domo, impregnada de espermicida que se inserta en la vagina; actúa durante 24 horas.	9% al 20% (los porcentajes de falla se duplican después de dar a luz)	Deficiente
Diafragma/capuchón cervical	Barreras flexibles reutilizables, con forma de domo, hechas de caucho o un material similar; se coloca espermicida en el domo y el dispositivo se instala sobre el cérvix antes del coito.	6% al 14%	Deficiente
Espermicida	Espuma espermicida que se coloca en la vagina antes del coito, como barrera química para los espermatozoides.	6% al 26%	Deficiente
Ritmo	Consiste en medir la temperatura corporal e identificar los cambios en el moco cervical para calcular el momento de la ovulación y evitar el coito durante el periodo fértil.	2% al 20% (pocas veces se efectúa correctamente)	Ninguna
Mecanismos de acción múltiple			
DIU (dispositivo intrauterino)[3]	Pequeño dispositivo de plástico tratado con hormonas o cobre, que un médico coloca en el útero a través del cérvix.	0.6% al 2%	Ninguna
"Píldora del día siguiente" (anticoncepción de emergencia)[3]	Dosis concentrada de las hormonas presentes en las píldoras anticonceptivas; se toma dentro de las 72 horas siguientes a la relación sexual.	25%	Ninguna

[1]Porcentaje de mujeres que se embarazan al año. Las cifras baja y alta, respectivamente, indican las diferencias entre el uso consistente y correcto y el uso de una forma más típica, que no siempre es consistente o correcta.

[2]El parche es tan eficaz como la píldora y tiene mayor probabilidad de usarse adecuadamente; sin embargo, para las mujeres que pesan más de 90 kg, es menos eficaz.

[3]Aunque evitar la fecundación parece el principal mecanismo, los científicos no descartan que, en algunos casos, estos dos últimos métodos eviten la implantación después de la fecundación.

y progesterona. Ésta es la base de las píldoras anticonceptivas. En la actualidad se dispone de otras formas de presentación para el estrógeno y la progesterona, generalmente en forma sintética (véase la tabla 40-3).

Los *métodos de barrera* son más eficaces cuando se utilizan con espermicida (una sustancia que extermina los espermatozoides). El diafragma y el capuchón cervical son tapas de caucho que embonan bien sobre el cérvix e impiden que los espermatozoides entren en el útero. Los condones para el hombre y la mujer, que también ayudan a protegerse contra las enfermedades de transmisión sexual, evitan que los espermatozoides se depositen en la vagina. Existen técnicas menos confiables, como el uso de espermicidas y el *método del ritmo* (la abstinencia de relaciones sexuales durante la ovulación). El método del ritmo tiene un alto porcentaje de falla por la falta de exactitud en la determinación del ciclo menstrual, que varía un poco de un mes a otro. El coito interrumpido (retirar el pene de la vagina justo antes de la eyaculación) y la ducha vaginal (expulsión de espermatozoides de la vagina por lavado antes de que hayan ingresado en el útero) no son formas confiables de evitar la concepción.

Otra técnica anticonceptiva es el uso del *dispositivo intrauterino (DIU)*, un pequeño dispositivo en forma de T que el médico inserta en el útero a través del cérvix. Las investigaciones indican que la principal forma en que funciona el DIU es evitando la fecundación. Recubrimientos de cobre o de

BIOÉTICA

Aunque algunas tecnologías de reproducción asistida podrían utilizarse para salvar a ciertas especies animales de la extinción, la mayoría se emplea para ayudar a las parejas que sufren de infertilidad a tener hijos. Para las mujeres que no ovulan regularmente, existen fármacos de la fertilidad (que provocan la liberación de FSH y LH adicionales), lo que da por resultado múltiples ovulaciones. Como consecuencia de este procedimiento, la tasa de nacimientos múltiples —que suponen mayores riesgos tanto para la madre como para los bebés— ha aumentado drásticamente (**FIGURA E40-2**).

Mediante la inyección *intracitoplásmica de espermatozoides* (ICSI, por las siglas de *intracytoplasmic sperm injection*), incluso los hombres cuyos espermatozoides no son capaces de nadar y fertilizar al óvulo pueden tener hijos propios. En la ICSI, se extraen espermatozoides prematuros de los testículos y luego se inyectan directamente en el citoplasma del óvulo con la ayuda de una micropipeta (**FIGURA E40-3**).

En todo el mundo viven unos tres millones de personas que fueron concebidas en un recipiente de vidrio por medio de la *fertilización in vitro* (FIV, que literalmente significa "fecundación en vidrio"). Primero, la mujer recibe inyecciones diarias de fármacos para estimular múltiples ovulaciones. Luego, los cirujanos insertan una aguja larga y hueca en cada folículo maduro y extraen el ovocito por succión. Por lo regular, se colocan muchos ovocitos en un plato de vidrio al que se añaden espermatozoides recién obtenidos, y se incuban de uno a siete días. Luego, unos cuantos de estos embriones incipientes se toman con un tubo y se depositan muy suavemente en el útero. Trasplantar múltiples embriones eleva la tasa de éxito de la implantación, pero también eleva la probabilidad de que haya nacimientos múltiples, los cuales implican un riesgo mucho mayor que los partos individuales. Para las parejas que tienen trastornos genéticos graves, es posible retirar una célula de un embrión FIV para analizarla en busca de defectos en el DNA (**FIGURA E40-4**) antes de hacer la implantación en el útero.

Usando la tecnología de clasificación de los espermatozoides, los padres ahora pueden aumentar sus probabilidades de tener un niño o una niña. Los espermatozoides que portan un cromosoma X tienen un 2.8 por ciento más de DNA que los que portan un cromosoma Y. Esta diferencia sirve de base para elegir una muestra de espermatozoides e incrementar el porcentaje de espermatozoides X o Y, los cuales luego se colocan directamente en el útero de la madre. Esto es importante si los padres son portadores de trastornos vinculados con el sexo, aunque algunos utilizan esta técnica como una forma de equilibrar los hijos de uno y otro sexo en sus familias. Enriquecer las muestras de espermatozoides a favor de los espermatozoides X ha tenido mayor éxito.

FIGURA E40-2 Séptuples

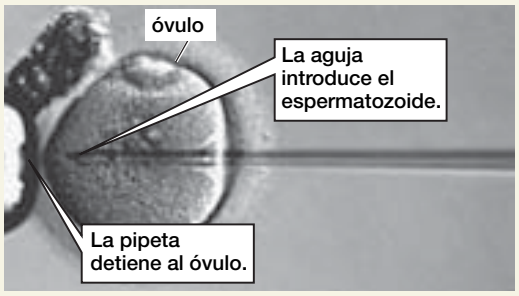


FIGURA E40-3 Un espermatozoide es inyectado en un óvulo Un óvulo, sostenido por una pipeta, es inyectado con un solo espermatozoide que se coloca directamente en su citoplasma. Observa la corona radiada que rodea al óvulo. PREGUNTA: ¿Por qué el espermatozoide debe inyectarse en el óvulo, en vez de simplemente ponerlo en contacto con éste?

En el mundo de la reproducción asistida, una viuda podría quedar embarazada con los espermatozoides de su esposo fallecido, previamente almacenados a temperaturas bajo cero. Hace poco, una mujer, cuyos ovarios no podían producir óvulos, tuvo gemelos. Sus hijos provinieron de óvulos donados que se habían conservado en congelación durante dos años. Una madre sustituta puede tener el hijo o la hija de una mujer a la que se extirpó el útero o que simplemente no quiere pasar por un embarazo. El óvulo y el espermatozoide que produjeron el feto que crece dentro de la madre sustituta quizá provengan de la pareja que la contrató, aunque también es posible que tanto el óvulo como el espermatozoide provengan de personas sin parentesco. De esta forma, existe la posibilidad de que en la actualidad un bebé tenga ¡hasta cinco "progenitores"!

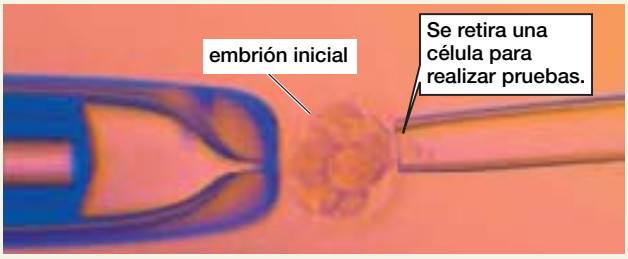


FIGURA E40-4 Una célula es extraída del embrión para efectuar pruebas genéticas

hormonas en diferentes DIU y la reacción del útero a este objeto extraño crean un ambiente hostil para los espermatozoides, lo que interfiere con su avance por el oviducto.

La píldora "de la mañana siguiente" contiene hormonas similares a las de las píldoras anticonceptivas, pero en mayores dosis. Esta forma de *anticoncepción de emergencia* es más efectiva si se toma dentro de un plazo no mayor a las 72 horas posteriores a la relación sexual. Estas píldoras funcionan de diversas formas: podrían detener o retrasar la ovulación, interferir con la formación del cuerpo lúteo, interferir con el avance de los espermatozoides a través del oviducto, o evitar que el embrión se implante después de la fecundación.

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA — En busca de un anticonceptivo masculino

Los únicos métodos temporales de control de la natalidad disponibles para los hombres son el condón y la abstinencia. Una razón es que los hombres producen unos 100 millones de espermatozoides al día, por lo que, incluso en el caso de que se exterminara al 95 por ciento de ellos, quedarían suficientes para provocar un embarazo no deseado. Además, la investigación sobre los métodos anticonceptivos para los hombres se ha quedado rezagada en comparación con los métodos para las mujeres, en parte porque las principales empresas farmacéuticas creyeron que el mercado era demasiado pequeño para justificar los enormes gastos que implicarían la investigación, la producción y el lanzamiento al mercado de estos nuevos fármacos. Pero encuestas recientes en todo el mundo han mostrado que los hombres están dispuestos a asumir una mayor responsabilidad frente a la anticoncepción. Existen tres posibilidades para desarrollar métodos anticonceptivos no permanentes para hombres.

Bloqueo de conductos deferentes: Decenas de miles de hombres en China utilizan tapones de silicón que se colocan en el conducto deferente para bloquear la liberación de espermatozoides. En India se están haciendo pruebas clínicas en seres humanos con una sustancia (RISUG) que bloquea parcialmente el vaso deferente y daña los espermatozoides que logran pasar. Los tapones de silicón se retiran quirúrgicamente y el RISUG se disuelve con una solución que se inyecta en el vaso deferente.

Métodos hormonales: Administrar testosterona evita la formación de espermatozoides al impedir la liberación de LH y FSH mediante retroalimentación negativa (véase la figura 40-15). Un prometedor anticonceptivo a base de hormonas para los hombres (ahora en la fase de pruebas clínicas) combina inyecciones de testosterona, cada 4 o 6 semanas, con un implante de progesterona sintética que suprime la posterior liberación de FSH y LH.

Fármacos no hormonales: Se están realizando pruebas en animales para un fármaco que bloquea una proteína en el epidídimo que normalmente activa la capacidad de los flagelos de los espermatozoides para nadar. Con sus flagelos inmovilizados, los espermatozoides no serán capaces de nadar hacia el óvulo. Un segundo enfoque es una "vacuna" que hace que el organismo produzca anticuerpos para una proteína (*eppin*), la cual resulta crucial para producir espermatozoides funcionales. En los monos esta vacuna causó esterilidad temporal, que pudo mantenerse estable mediante inyecciones periódicas.

Aunque estos fármacos y otros en proceso de desarrollo no estarán disponibles en Estados Unidos todavía durante varios años, prometen diversificar las opciones de anticonceptivos masculinos en el futuro.

El aborto sustrae al embrión del útero

El aborto no se considera un método de anticoncepción ya que pone fin al embarazo, en vez de evitarlo. Por lo general, implica dilatar el cérvix y retirar al embrión mediante succión. La mayoría de los abortos se practican durante los tres primeros meses del embarazo. De manera alternativa, el aborto puede ser inducido durante las primeras siete semanas de embarazo mediante el fármaco RU-486 (mifepristone), que se une a los receptores de progesterona y bloquea las acciones de esta hormona, la cual resulta esencial para conservar el endometrio durante el embarazo.

Quizá hayas notado que las técnicas de control natal están diseñadas principalmente para las mujeres. ¿Por qué? ¿Se están desarrollando anticonceptivos para el hombre? Para descubrirlo, lee la sección "Investigación científica: En busca de un anticonceptivo masculino".

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO

EL ZOOLÓGICO CONGELADO

IOÉTICA

Aunque la tecnología reproductiva asistida (TRA) está encaminada a salvar especies en peligro de extinción, no resulta atractiva para todos los conservacionistas. Algunos sostienen que la única forma apropiada de preservar una especie es mantener suficientes hábitat naturales para dar sustento a una población en desarrollo lo bastante grande como para mantenerse a sí misma y conservar una diversidad genética razonable. Los defensores de la TRA están de acuerdo con lo anterior, pero apoyan los esfuerzos de alta tecnología como una acción paralela a la preservación de los hábitat, en particular para los animales en peligro crítico de extinción. El doctor Oliver Ryder, genetista y director del zoológico congelado de San Diego, explica: "[El zoológico congelado] representa un legado genético, un banco de DNA. En el futuro, los científicos tendrán mejores herramientas, pero no tendrán acceso a más genes". La doctora Betsy Dresser, quien preside el Centro Audubon para la investigación de especies en peligro de extinción en Nueva Orleáns, describe la TRA como "una red de seguridad". "Si congelamos 200 o 300 embriones, es más que suficiente para evitar que una población se extinga". Dresser, quien trabaja para desarrollar técnicas de transferencia de embriones entre especies que permitirán a las leonas

FIGURA 40-22 **Un tigre de probeta**

servir como madres sustitutas del tigre siberiano en peligro de extinción (**FIGURA 40-22**), afirma: "No quiero ver tigres sólo en los libros de texto algún día. Ni quiero que la gente que viva aquí dentro de 100 años mire hacia atrás y diga '¡Dios mío, tenían esa tecnología y dejaron que esos animales se extinguieran!'" Los partidarios de la TRA prevén un futuro en el que los hábitat naturales se hayan recuperado y estén protegidos, de manera que las poblaciones de especies en peligro crítico de extinción que se criaron en los zoológicos (manteniendo tanta diversidad genética como sea posible) puedan ser liberadas para prosperar y reproducirse en sus ambientes naturales.

Piensa en esto Los tejidos congelados del último bucardo que quedaba en el mundo y del último po'ouli son la única esperanza de que la Tierra algún día albergará estas especies únicas. Pero sólo la clonación producirá un nuevo bucardo o un nuevo po'ouli. Los animales producidos por clonación serán genéticamente idénticos y sufrirán otros problemas que se han presentado ya en los ejemplares clonados (véase el capítulo 11). ¿Se debería invertir dinero y el esfuerzo de los científicos para tratar de hacer resurgir estas especies? Argumenta tu respuesta.

REPASO DEL CAPÍTULO

RESUMEN DE CONCEPTOS CLAVE

40.1 ¿Cómo se reproducen los animales?

Los animales se reproducen sexual o asexualmente. En la reproducción sexual, los núcleos de los gametos haploides, por lo regular de dos progenitores distintos, se unen y producen un descendiente genéticamente diferente de cualquiera de los progenitores. La reproducción asexual, ya sea por gemación, fisión o partenogénesis, produce descendientes genéticamente idénticos al progenitor.

Durante la reproducción sexual, el gameto masculino (un espermatozoide móvil y pequeño) fecunda el gameto femenino (un óvulo grande y sin movimiento). Algunas especies son hermafroditas, pues producen tanto espermatozoides como óvulos, pero la mayoría de las especies tienen sexos separados. La fecundación puede tener lugar fuera del cuerpo de los animales (fecundación externa) o dentro del cuerpo de la hembra (fecundación interna). La fecundación externa debe efectuarse en agua para que los espermatozoides puedan nadar hacia el óvulo. La fecundación interna normalmente se realiza mediante la cópula, en la que el macho deposita espermatozoides directamente en el tracto reproductor de la hembra.

40.2 ¿Cómo funciona el aparato reproductor humano?

El tracto reproductor masculino consiste en un par de testículos, que producen espermatozoides y testosterona, y estructuras accesorias que llevan los espermatozoides al tracto reproductor de la hembra y secretan líquidos que activan el nado de los espermatozoides al tiempo que suministran energía. En el hombre, las hormonas FSH y LH, producidas por la hipófisis anterior, estimulan la espermatogénesis y la producción de testosterona. Estos dos procesos son casi continuos; se inician en la pubertad y perduran hasta la muerte.

El tracto reproductor femenino consiste en un par de ovarios, que producen óvulos además de las hormonas estrógeno y progesterona, y estructuras accesorias, que conducen los espermatozoides hacia el óvulo, además de recibir y nutrir al embrión durante el desarrollo prenatal. En la mujer, la ovogénesis, la producción de hormonas y el desarrollo del endometrio varían según un ciclo menstrual de un mes. El ciclo se controla con hormonas del hipotálamo (GnRH), la hipófisis anterior (FSH y LH) y los ovarios (estrógeno y progesterona).

Durante la cópula, el hombre eyacula semen en la vagina de la mujer. Los espermatozoides se desplazan por la vagina y el útero hasta el tubo uterino u oviducto, donde suele efectuarse la fecundación. El óvulo no fecundado está rodeado por dos barreras, la corona radiada y la zona pelúcida. Enzimas liberadas por el acrosoma en la cabeza del espermatozoide digieren estas capas y permiten al espermatozoide llegar al óvulo. Sólo un espermatozoide entra en el óvulo y lo fecunda.

La capacidad para reproducirse se inicia en la pubertad, cuando la hormona GnRH producida por el hipotálamo provoca la liberación de FSH y LH por parte de la hipófisis anterior. Estas hormonas, a la vez, estimulan a las glándulas sexuales para que produzcan testosterona (en el caso de los hombres) y estrógeno (en las mujeres), los cuales inducen el desarrollo de caracteres sexuales secundarios y la producción de espermatozoides y óvulos, respectivamente.

Web tutorial 40.1 El aparato reproductor masculino

Web tutorial 40.2 El aparato reproductor femenino

40.3 ¿Cómo podemos limitar la fertilidad?

La anticoncepción puede lograrse mediante la abstinencia o la esterilización; esta última consiste en cortar los conductos deferentes en el hombre (vasectomía) o los tubos uterinos en la mujer (ligado de trompas). También es posible bloquear los oviductos insertando un dispositivo con forma de resorte, el cual provoca que se forme tejido de cicatrización. Entre las técnicas anticonceptivas temporales están las que impiden la ovulación mediante estrógeno y progesterona; por ejemplo, las píldoras anticonceptivas, los parches anticonceptivos, el anillo vaginal y las inyecciones de hormonas. Los métodos de barrera, que impiden que los espermatozoides y el óvulo se junten, incluyen el diafragma, el capuchón cervical, la esponja y el condón, acompañados de espermicidas. Los espermicidas, por sí solos, son menos eficaces. El coito interrumpido y las duchas vaginales son técnicas poco efectivas. El método del ritmo, que tiene un alto porcentaje de falla, requiere abstinencia en los días cercanos a la ovulación. Los dispositivos intrauterinos impiden que los espermatozoides lleguen al óvulo. La anticoncepción de emergencia (o "píldora del día siguiente") tiene varios mecanismos de acción. El aborto causa la expulsión del embrión en desarrollo.

TÉRMINOS CLAVE

acrosoma *pág. 821*
anticoncepción *pág. 829*
célula intersticial *pág. 821*
células de Sertoli *pág. 821*
ciclo menstrual *pág. 824*
cigoto *pág. 824*
clamidia *pág. 828*
clítoris *pág. 826*
cópula *pág. 819*
corona radiada *pág. 826*
cuerpo lúteo *pág. 824*
cuerpo polar *pág. 824*
embrión *pág. 823*
endometrio *pág. 824*
enfermedad de transmisión sexual (ETS) *pág. 828*

escroto *pág. 820*
espermátida *pág. 821*
espermatocito primario *pág. 821*
espermatocito secundario *pág. 821*
espermatóforo *pág. 819*
espermatogénesis *pág. 821*
espermatogonias *pág. 821*
espermatozoide *pág. 817*
esterilización *pág. 829*
estrógeno *pág. 820*
fecundación *pág. 816*
fecundación externa *pág. 817*
fecundación interna *pág. 819*
feromona *pág. 818*
feto *pág. 824*
fisión *pág. 816*
folículo *pág. 823*
gemación *pág. 816*
glándula bulbouretral *pág. 822*
gónada *pág. 820*
gonorrea *pág. 828*
hermafrodita *pág. 817*
herpes genital *pág. 828*
hormona estimuladora de folículos (FSH) *pág. 820*
hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) *pág. 820*
hormona luteinizante (LH) *pág. 820*
labios *pág. 826*
ladillas *pág. 828*
menstruación *pág. 825*
ovario *pág. 823*
ovocito primario *pág. 823*
ovocito secundario *pág. 823*
ovogénesis *pág. 823*
ovogonias *pág. 823*
ovulación *pág. 819*
óvulo *pág. 817*
partenogénesis *pág. 816*
pene *pág. 820*
placenta *pág. 824*
progesterona *pág. 824*
próstata *pág. 822*
pubertad *pág. 820*
regeneración *pág. 816*
reproducción asexual *pág. 816*
reproducción sexual *pág. 816*
semen *pág. 822*
sífilis *pág. 828*
síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA) *pág. 828*
testículo *pág. 820*
testosterona *pág. 820*
tricomoniasis *pág. 828*
tubo uterino *pág. 824*
túbulo seminífero *pág. 821*
uretra *pág. 822*
útero *pág. 824*
vagina *pág. 825*
vesícula seminal *pág. 822*
virus del papiloma humano (VPH) *pág. 828*
zona pelúcida *pág. 826*

RAZONAMIENTO DE CONCEPTOS

Menciona las ventajas y desventajas de la reproducción asexual, la reproducción sexual, la fecundación externa y la fecundación interna, dando un ejemplo de animal que utilice cada mecanismo.

Compara las estructuras del óvulo y del espermatozoide. ¿Qué modificaciones estructurales tienen los espermatozoides que facilitan el movimiento, el uso de energía y la digestión?

¿Qué papel desempeña el cuerpo lúteo en el ciclo menstrual? ¿En las primeras etapas del embarazo? ¿Qué determina su supervivencia después de la ovulación?

Elabora una tabla de enfermedades de transmisión sexual comunes. Incluye el nombre de la enfermedad, la causa (organismo o virus), los síntomas y el tratamiento.

5. Menciona en orden las estructuras por las que un espermatozoide pasa en su camino desde los túbulos seminíferos del testículo hasta el tubo uterino de la hembra.

6. Menciona las tres glándulas accesorias del tracto reproductor masculino. ¿Qué funciones tienen las secreciones que producen?

7. Elabora un diagrama del ciclo menstrual y describe las interacciones de las hormonas secretadas por el hipotálamo, la hipófisis y los ovarios que originan el ciclo.

APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Comenta el método de control de la natalidad más eficaz o apropiado para cada una de estas parejas: la pareja A, que tiene relaciones sexuales tres veces a la semana, pero no quiere tener hijos nunca; la pareja B, que tiene relaciones una vez al mes y quizás quiera tener hijos algún día; y la pareja C, que tiene relaciones tres veces a la semana y quiere tener hijos algún día.
2. Un anticonceptivo hipotético que bloquea los receptores de FSH y LH ¿sería útil en los hombres? ¿Cómo funcionaría? ¿Qué efectos colaterales podría tener?
3. Piensa en todas las opciones de que una pareja dispone para tener hijos, como la fecundación *in vitro* empleando los óvulos y espermatozoides propios, la fecundación *in vitro* empleando óvulos o espermatozoides de un donador, e inseminación de una madre sustituta con espermatozoides del esposo. Piensa en otras más. ¿Qué problemas éticos presentan estas diversas opciones? ¿Qué problemas legales y médicos podrían surgir?
4. Los fármacos de fertilidad han elevado considerablemente la incidencia de partos múltiples. Cuando más de dos embriones comparten el útero, la incidencia de partos prematuros y problemas del desarrollo aumenta considerablemente. El costo de cuidar a varios bebés prematuros es muy alto. Cuando los fármacos de fertilidad producen múltiples embriones, el médico puede eliminar selectivamente algunos de ellos en las primeras etapas del desarrollo, de manera que los demás tengan una mejor oportunidad de desarrollarse plena y normalmente. En vista de lo anterior, comenta las implicaciones éticas de tomar fármacos de fertilidad.

PARA MAYOR INFORMACIÓN

Estabrook, B. "Staying Alive". *Wildlife Conservation*, junio de 2002. La tecnología reproductiva asistida ofrece esperanza para salvar especies en peligro de extinción.

Khamsi, R. "Sperm bounce Back After Male Contraception". *New Scientist*, 28 de abril de 2006. Ensayos clínicos muestran una rápida recuperación en la producción de espermatozoides después de que los hombres dejan de tomar anticonceptivos hormonales.

Kingsland, J. "Sperm Warfare". *New Scientist*, 10 de enero de 2004. La investigación en torno a anticonceptivos masculinos apunta a los espermatozoides.

Lanza, R. P., Dresser, B. L. y Damiani, P. "Cloning Noah's Ark". *Scientific American*, noviembre de 2000. Para algunas especies en peligro de extinción, la clonación podría ofrecer la mejor oportunidad de supervivencia.

Milius, S. "Battle of the Hermaphrodites". *Science News*, 16 de septiembre de 2006. Dos sexos en un cuerpo desarrollan comportamientos reproductivos interesantes.

Ness, E. "How to Breed a 2,000-pound Rhino". *Discover*, noviembre de 2001. El rinoceronte de Sumatra, en peligro de extinción, se reprodujo en cautiverio por primera vez en un siglo; sólo sobreviven unos 300 en vida silvestre.

Ojcius, D. M., Darville, T. y Bavoil, P. M. "Can Chlamydia Be Stopped?" *Scientific American*, mayo de 2005. La clamidia es la principal causa de ceguera susceptible de prevención en el mundo; nuevos avances podrían controlarla.

Riddle, J. M. y Estes, J. W. "Oral Contraceptives in Ancient and Medieval Times". *American Scientist*, mayo-junio de 1992. ¿Cómo controlaban su fertilidad las mujeres antes de que existiera la medicina moderna?

Whelan, J. "Reproduction Revolution: Sex for Fun, IVF for Children". *New Scientist*, 20 de octubre de 2006. Este artículo explora las opciones reproductivas de la alta tecnología.

Wright, K. "Male Contraception". *Discover*, octubre de 2002. El autor explora los desafíos y avances en el desarrollo de anticonceptivos masculinos.

CAPÍTULO 41

Desarrollo animal

John, quien como adulto lucha con los efectos del síndrome de alcoholismo fetal (SAF), ha ayudado a su madre adoptiva Teresa Kellerman a advertir a las mujeres acerca de los riesgos de beber alcohol durante el embarazo. (Imagen en recuadro) Debbie ahora se arrepiente de haber bebido alcohol estando embarazada de su hija Sabrina, cuyo sistema nervioso resultó dañado.

DE UN VISTAZO

ESTUDIO DE CASO: Los rostros del síndrome de alcoholismo fetal

41.1 ¿En qué difieren el desarrollo indirecto y el directo?

Durante el desarrollo indirecto, los animales sufren un cambio radical en la forma de su cuerpo

Los animales recién nacidos que tienen un desarrollo directo parecen adultos en miniatura

41.2 ¿Cómo procede el desarrollo animal?

Con la segmentación del cigoto se inicia el desarrollo

La gastrulación forma tres capas de tejidos

Las estructuras adultas se desarrollan durante la organogénesis

41.3 ¿Cómo se controla el desarrollo?

Cada célula contiene todos los planos genéticos del organismo

Investigación científica: La promesa de las células madre

La transcripción genética se regula con precisión durante el desarrollo

41.4 ¿Cómo se desarrollan los seres humanos?

Durante los primeros dos meses, la diferenciación y el crecimiento son muy rápidos

La placenta secreta hormonas y permite el intercambio de materiales entre la madre y el embrión

El crecimiento y el desarrollo continúan durante los últimos siete meses

El desarrollo culmina con el parto y el alumbramiento

Las hormonas del embarazo estimulan la secreción de leche

Guardián de la salud: La placenta sólo brinda una protección parcial

El envejecimiento es inevitable

Enlaces con la vida: ¿Por qué el parto es tan difícil?

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Los rostros del síndrome de alcoholismo fetal

ESTUDIO DE CASO

LOS ROSTROS DEL SÍNDROME DE ALCOHOLISMO FETAL

"LA SENSACIÓN DE CULPABILIDAD ES TREMENDA... lo hice una y otra vez... no sé cómo decírselo. Era algo que pude haber evitado". Debbie, la joven madre de este caso, tiene siete hijos. A su hija Cory le diagnosticaron **síndrome de alcoholismo fetal (SAF)**, el tipo de daño más severo causado por el alcohol. Cuando Cory tenía tres años era hiperactiva, pero hablaba como si tuviera un año de edad. Los médicos creen que Sabrina (imagen en recuadro), la hija más pequeña de Debbie también es víctima de ese síndrome porque su carita muestra los rasgos característicos del SAF. A los siete meses de edad, mostraba debilidad y comenzaba a tener convulsiones; además, no podía ingerir alimentos sólidos porque no era capaz de cerrar el labio superior alrededor de la cuchara. Cuando Debbie bebía alcohol durante el embarazo, su hijo en desarrollo sufría los efectos. John (foto de inicio del capítulo) es un joven adulto con el síndrome de alcoholismo fetal; su madre consumía alcohol cuando estaba embarazada y estaba bajo los efectos etílicos cuando dio a luz.

Los daños causados a los hijos cuando las madres sufren la enfermedad del alcoholismo son irreversibles. John tuvo la suerte de ser adoptado por una mujer verdaderamente admirable, Teresa Kellerman, quien realiza una importante labor educativa al advertir a la gente acerca de los peligros de consumir alcohol durante el embarazo. "Si uno no interviene, los chicos terminan sin hogar y sin trabajo, se vuelven drogadictos o son arrestados, tienen hijos no deseados, viven en la calle o mueren prematuramente", dice Kellerman, quien fundó el Centro de Recursos Comunitarios para el Síndrome de Alcoholismo Fetal, en Tucson, Arizona. La madre de Sabrina empezó su rehabilitación y tiene toda la intención de permanecer sobria y de ser una buena madre para todos sus hijos. Pero aun así, ni John, ni Sabrina, ni los miles de niños que nacen cada año con este síndrome tienen la más mínima probabilidad de sobrevivir si carecen de una estrecha supervisión. Decenas de miles de niños que presentan un daño menor a causa del alcoholismo de sus madres seguirán vivos, pero nunca desarrollarán todo su potencial.

¿Cómo resulta dañado un niño en desarrollo cuando la madre bebe alcohol estando embarazada? ¿Qué rasgos característicos buscan los médicos para diagnosticar el SAF? ¿Hay alguna cantidad de alcohol que una mujer pueda beber sin ningún riesgo durante el embarazo? ¿Existe un periodo en el desarrollo fetal durante el cual una mujer embarazada puede ingerir alcohol sin riesgo?

Los biólogos especializados en el desarrollo continúan investigando los asombrosos pormenores de cómo una sola célula —un cigoto formado a partir de la unión del espermatozoide y el óvulo— se transforma en un organismo tan complejo. Puesto que las células del embrión proliferan por medio de la mitosis, cada célula tiene un genoma idéntico. ¿Qué sustancias químicas hacen que las células genéticamente uniformes se transformen en diferentes componentes de los huesos, la sangre y el cerebro? A medida que los científicos adquieren más conocimientos, aumenta el optimismo acerca de que algún día será posible incrementar nuestra capacidad para dirigir la diferenciación celular y que, con el tiempo, se desarrollarán técnicas para remplazar las células dañadas de los individuos enfermos o con discapacidades. Aquí exploramos los tipos y las etapas del desarrollo animal, un poco de lo que se conoce acerca de la diferenciación celular y las formas en las cuales las sustancias extrañas pueden interferir con este delicado proceso.

41.1 ¿EN QUÉ DIFIEREN EL DESARROLLO INDIRECTO Y EL DIRECTO?

Cuando pensamos en el desarrollo, con frecuencia vienen a nuestra mente las imágenes de un recién nacido. Es indudable que sus proporciones son distintas, pero los bebés son, en todos los aspectos importantes, versiones en miniatura de los humanos adultos. Las personas y otros mamíferos, así como las aves y los reptiles, nacen como "adultos en miniatura", gracias a un proceso denominado **desarrollo directo**. Sin embargo, para la mayoría de las especies animales, la norma es el *desarrollo indirecto.*

Durante el desarrollo indirecto, los animales sufren un cambio radical en la forma de su cuerpo

En el **desarrollo indirecto**, el animal joven difiere de manera significativa del adulto y experimenta cambios radicales durante el desarrollo, como cuando un gusano se transforma en mariposa. El desarrollo indirecto ocurre en la mayoría de los invertebrados —incluidos los insectos y equinodermos— y en los vertebrados anfibios. Los animales con desarrollo indirecto comúnmente producen grandes cantidades de huevecillos, y cada uno de ellos tiene sólo una pequeña cantidad de reserva de alimento llamada **vitelo** o **yema**, que nutre al embrión en desarrollo durante su transformación en un organismo, sexualmente inmaduro, llamado **larva** (FIGURA 41-1). Debido a que se produce sólo una pequeña cantidad de vitelo y a que la cría generalmente se vale por sí misma después de salir del huevo, el desarrollo indirecto no exige demasiado de la madre. Esto le permite producir grandes cantidades de crías, la mayoría de las cuales no llegan a la edad adulta. El empleo de este método de reproducción se ilustra por los depósitos de corales que se muestran en la figura 40-6.

Algunos animales en estado larvario no solamente se ven muy diferentes de los animales adultos, sino que también habitan en ambientes totalmente distintos. Además, la mayoría de las larvas se alimentan de organismos diferentes en relación con los adultos. Esta adaptación elimina la competencia entre los adultos y sus crías. Por ejemplo, la larva acuática de la libélula se alimenta de organismos acuáticos, como los renacuajos; pero la libélula adulta, que es terrestre, se alimenta de insectos (FIGURA 41-1b). Con el tiempo, la larva experimenta un cambio radical en la forma de su cuerpo, conocida como **metamorfosis**, para convertirse en un adulto sexualmente maduro.

Aunque tendemos a considerar la forma adulta como el "verdadero animal" y el estado larvario como la "etapa de preparación", la mayor parte de la vida de algunos animales, especialmente los insectos, transcurre en la forma larvaria. Algunos tipos de moscas de mayo (también conocidas como moscas efímeras) pasan un año o más como larvas acuáticas, luego sufren metamorfosis para salir del agua dulce de arroyos, estanques y lagos en grandes enjambres. Las moscas de

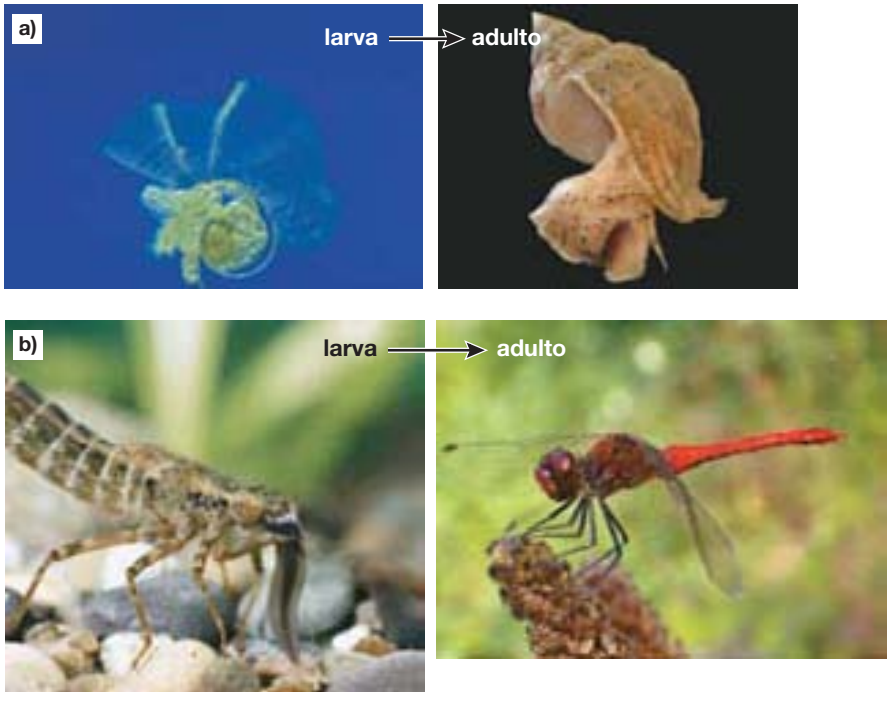


FIGURA 41-1 Desarrollo indirecto
Muchos moluscos marinos, como este caracol común, experimentan un desarrollo indirecto en el cual la larva casi microscópica es muy diferente del adulto en cuanto a tamaño, apariencia y estilo de vida. ***b)*** La larva de la libélula es acuática y se alimenta de renacuajos (como se muestra aquí) y de pececillos, mientras que la forma adulta es terrestre y se alimenta de otros insectos. PREGUNTA: Explica algunas ventajas y desventajas del desarrollo indirecto.

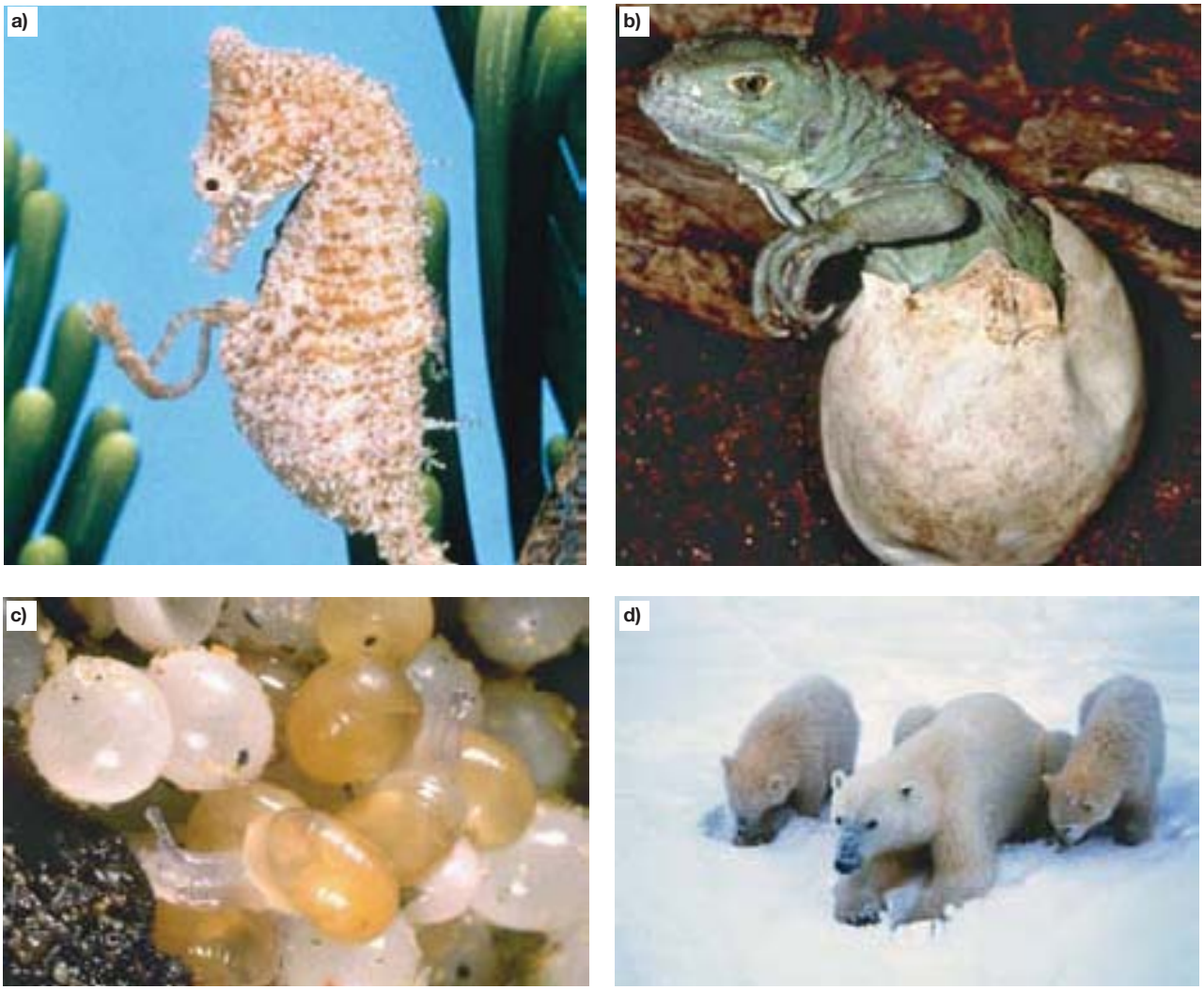


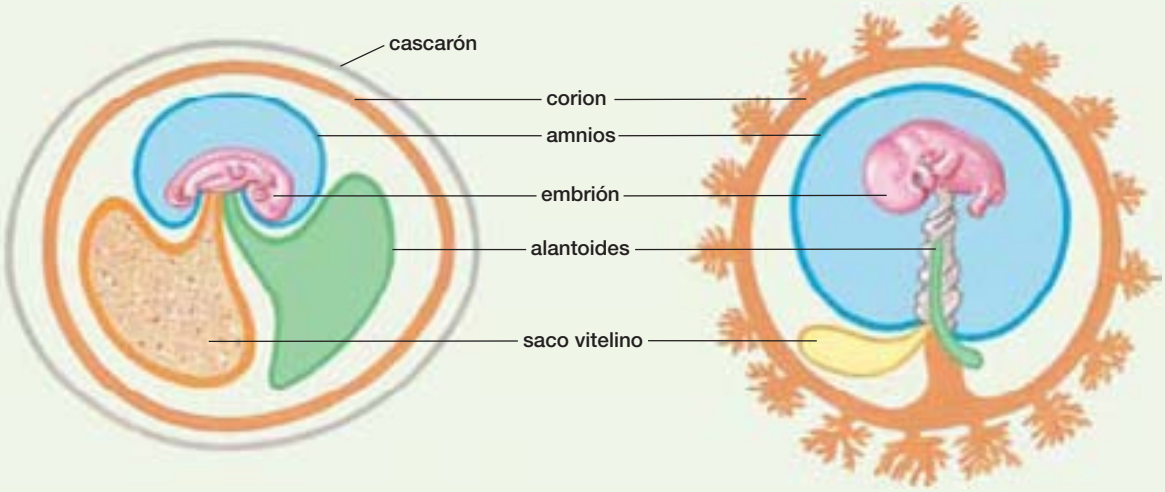
FIGURA 41-2 Desarrollo directo
Las crías de los animales con desarrollo directo se parecen mucho a sus progenitores desde el momento en que nacen. Todos se alimentan por medio del vitelo (yema del huevo) o por nutrimentos en la sangre de la madre. ***a)*** Un caballito de mar macho alimenta a las crías que se han desarrollado de los huevecillos ricos en vitelo, colocados en su bolsa por la hembra. ***b)*** Los lagartos nacen de huevos grandes llenos de vitelo. ***c)*** Los caracoles nacen de huevos pequeños ricos en vitelo, ***d)*** Las madres de los mamíferos alimentan a sus crías en desarrollo dentro de sus cuerpos. PREGUNTA: Explica algunas ventajas y desventajas del desarrollo directo.

mayo adultas viven desde unas cuantas horas hasta algunos días. No se alimentan, y su única ocupación es aparearse y poner huevecillos. Cada hembra deposita miles de ellos sobre el agua; de los huevecillos salen larvas que continúan su ciclo.

Los animales recién nacidos que tienen un desarrollo directo parecen adultos en miniatura

Otros animales, incluidos diversos grupos como caracoles de tierra, reptiles, aves y mamíferos, experimentan un desarrollo directo, en el cual el recién nacido es una versión en miniatura del individuo adulto, aunque sexualmente inmaduro (**FIGURA 41-2**

Tabla 41-1 Membranas embrionarias de los vertebrados



	Embrión de reptil		Embrión de mamífero	
Membrana	**Estructura**	**Función**	**Estructura**	**Función**
Corion	Membrana que reviste el interior del cascarón	Actúa como superficie respiratoria; regula el intercambio de gases y agua entre el embrión y el aire	Aportación fetal a la placenta	Provee la superficie para el intercambio de gases, nutrimentos y desechos entre el embrión y la madre
Amnios	Bolsa que rodea al embrión	Encierra al embrión en líquido	Bolsa que rodea al embrión	Encierra al embrión en líquido
Alantoides	Bolsa conectada al tracto urinario del embrión; membrana rica en capilares que reviste el interior del corion	Almacena desechos (especialmente orina); actúa como superficie respiratoria	Bolsa membranosa que sale del intestino; varía en tamaño	Puede almacenar desechos metabólicos; proporciona los vasos sanguíneos del cordón umbilical
Saco vitelino	Membrana que rodea el vitelo	Contiene vitelo como alimento; digiere el vitelo y transfiere nutrimentos al embrión	Bolsa membranosa, pequeña y llena de líquido	Ayuda a absorber nutrimentos de la madre; forma células sanguíneas; contribuye al cordón umbilical

Reptiles, aves y mamíferos producen membranas extraembrionarias similares

Los anfibios fueron los primeros vertebrados en habitar en tierra firme, pero su reproducción está íntimamente vinculada con el agua, donde depositan los huevos y donde sus crías en estado larvario crecen y experimentan la metamorfosis para convertirse en adultos. La vida completamente terrestre de los vertebrados no fue posible sino hasta que la evolución produjo el **huevo amniótico** con cascarón. Esta innovación, que aloja al embrión en un espacio protegido lleno de líquido, surgió primero en los reptiles y persiste hasta ahora en ese grupo y en sus descendientes: las aves y los mamíferos. Permite a estos grupos completar su desarrollo para adquirir la forma adulta en su "estanque privado". El huevo amniótico está formado de cuatro membranas, llamadas **membranas extraembrionarias**: *corion, amnios, alantoides* y *saco vitelino.* El **corion** reviste el cascarón y hace posible el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre el embrión y el ambiente externo del huevo. El **amnios** encierra al embrión en un ambiente acuoso; la **alantoides** almacenado, o "yema de huevo". Aunque los huevos de la mayoría de los mamíferos casi no contienen vitelo, existen las cuatro membranas extraembrionarias como remanentes del programa genético de desarrollo de los reptiles. La tabla 41-1 compara las estructuras y funciones de estas membranas extraembrionarias de los reptiles y mamíferos.

41.2 ¿CÓMO PROCEDE EL DESARROLLO ANIMAL?

La transformación a partir del óvulo fecundado —una sola célula— a un embrión multicelular diferenciado se realiza de una forma suave y continua mediante un maravilloso proceso. El desarrollo real es continuo y fluido; las etapas descritas son sólo "fotografías instantáneas" con fines ilustrativos. Las etapas iniciales son *segmentación, gastrulación, organogénesis* y *crecimiento,*

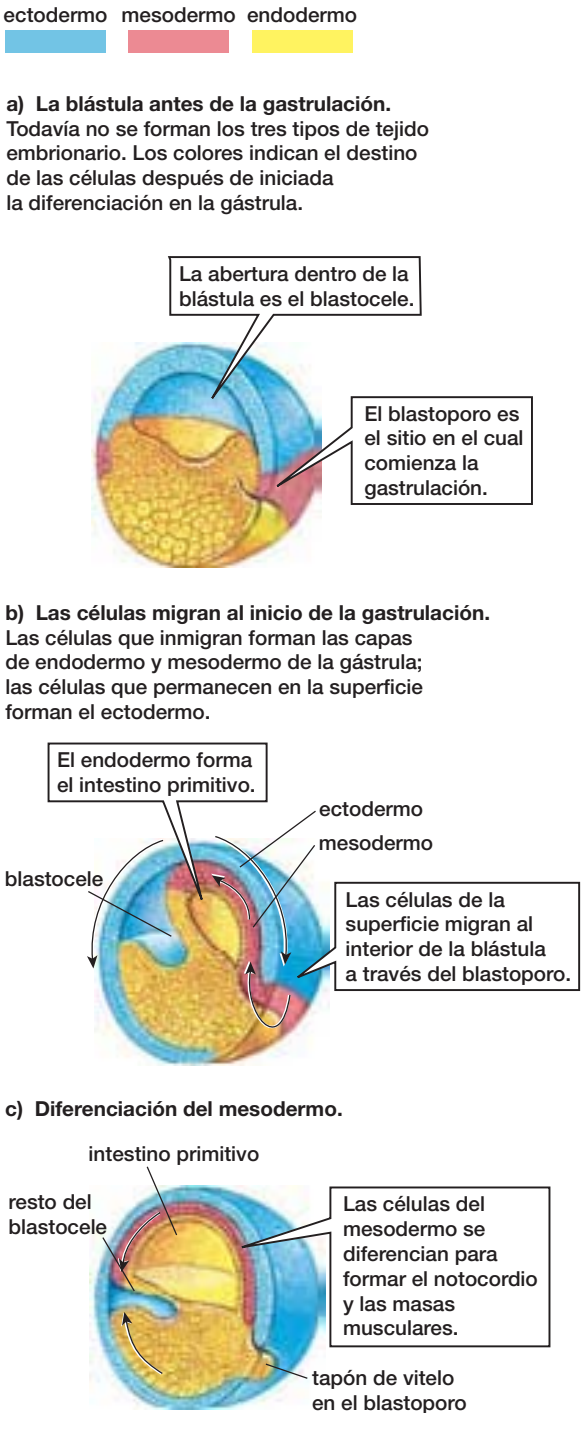

ectodermo
mesodermo
endodermo
a) La blástula antes de la gastrulación. Todavía no se forman los tres tipos de tejido embrionario. Los colores indican el destino de las células después de iniciada la diferenciación en la gástrula.
La abertura dentro de la blástula es el blastocele.
El blastoporo es el sitio en el cual comienza la gastrulación.
b) Las células migran al inicio de la gastrulación. Las células que inmigran forman las capas de endodermo y mesodermo de la gástrula; las células que permanecen en la superficie forman el ectodermo.
El endodermo forma el intestino primitivo.
ectodermo
mesodermo
blastocele
Las células de la superficie migran al interior de la blástula a través del blastoporo.
c) Diferenciación del mesodermo.
intestino primitivo
resto del blastocele
Las células del mesodermo se diferencian para formar el notocordio y las masas musculares.
tapón de vitelo en el blastoporo

FIGURA 41-3 La blástula de una rana se convierte en gástrula

Con la segmentación del cigoto se inicia el desarrollo

La formación de un embrión se inicia con la **segmentación**, una serie de divisiones mitóticas de la célula grande del huevo fecundado o *cigoto*. No hay crecimiento entre las divisiones mitóticas, así que al progresar la segmentación, el citoplasma disponible en el cigoto grande se divide en células aun más pequeñas. Finalmente, se forma una esfera sólida de células pequeñas, la **mórula** lulas se transforman en la cubierta externa de una estructura hueca llamada **blástula**. El espacio dentro de la blástula se denomina *blastocele* (**FIGURA 41-3a**).

Los detalles de la segmentación difieren según las especies. El patrón se determina primordialmente por la cantidad de vitelo presente, porque éste obstruye la *citocinesis* (división del citoplasma). Los huevos del erizo de mar que casi no contienen vitelo se dividen de forma simétrica, pero los huevos con gran cantidad de vitelo, como los de gallina, no se dividen en toda su extensión. No obstante, siempre se produce una blástula hueca; en los reptiles y las aves, está aplanada en la parte superior del vitelo.

La gastrulación forma tres capas de tejidos

En el siguiente paso del desarrollo, se forma una invaginación, llamada **blastoporo**, a un lado de la blástula. Las células de la blástula migran hacia dentro a través del blastoporo, como si tomáramos una pelota grande casi desinflada y la presionáramos con el dedo (**FIGURA 41-3b**). Estas células forman tres capas de tejido embrionario. La migración de las células y la diferenciación que produce un embrión de tres capas se llama **gastrulación**, y el embrión resultante se conoce como **gástrula** (**tabla 41-2**). Las células de la invaginación, cada vez más profunda, se convertirán en el tracto digestivo y los órganos asociados; por ahora constituyen el **endodermo** (del griego, "piel interior"). Las células que permanecen en el exterior, que formarán la epidermis y el sistema nervioso, constituyen el **ectodermo** ("piel exterior"). Mientras tanto, algunas células migran entre el endodermo y el ectodermo, formando una tercera capa final, el **mesodermo** ("piel intermedia"). El mesodermo da origen a los músculos, el esqueleto (incluido el **notocordio**, un cilindro firme de sostén que se encuentra en cierta etapa de todos los cordados) y el sistema circulatorio (**FIGURA 41-3c**).

Las estructuras adultas se desarrollan durante la organogénesis

Gradualmente, el ectodermo, mesodermo y endodermo se reordenan para formar los órganos característicos de la especie animal por medio de un proceso llamado **organogénesis** (véase la tabla 41-2). En algunos casos, las estructuras adultas son "esculpidas" por el exceso de células muertas producidas durante el desarrollo embrionario. Algunas células están programadas para morir en momentos precisos durante el desarrollo; la muerte de las células está controlada al menos por dos mecanismos que funcionan en diferentes tejidos. Algunas

Tabla 41-2 Derivación de tejidos adultos a partir de capas celulares embrionarias

Capa embrionaria	Tejido adulto
Ectodermo	Epidermis de la piel, cabello, revestimiento de la boca y nariz, glándulas de la piel, sistema nervioso
Mesodermo	Dermis de la piel, músculos, esqueleto, sistema circulatorio, gónadas, riñones, capas externas de los tractos digestivo y respiratorio
Endodermo	Revestimiento de los tractos digestivo y respiratorio, hígado, páncreas

FIGURA 41-4 **Una rana toro pierde su cola**

células mueren durante el desarrollo a menos que reciban una "señal de supervivencia". Los vertebrados embrionarios, por ejemplo, tienen muchas más neuronas motrices para los músculos esqueléticos en su médula espinal que los animales adultos. Estas neuronas sobreviven sólo si logran formar sinapsis con las células del músculo esquelético; las neuronas adicionales mueren.

En otros casos, se forman estructuras de embrión y luego desaparecen porque reciben una "señal de muerte" en alguna etapa del desarrollo. Por ejemplo, todos los vertebrados pasan por etapas embrionarias en las cuales tienen cola y membranas entre los dedos de las manos y los pies. En el ser humano, estas etapas pueden verse claramente en los embriones de seis semanas (véase la figura 41-12). Dos semanas después, las células de las membranas mueren para revelar dedos separados, mientras que la cola sufre una regresión conforme sus células mueren (véase la figura 41-13). En las ranas, la cola se pierde durante la metamorfosis de la larva o renacuajo. En este caso, la hormona tiroidea, que desencadena la metamorfosis, también estimula a las células de la cola para que produzcan enzimas, las cuales terminan por digerirla por completo (**FIGURA 41-4**).

41.3 ¿CÓMO SE CONTROLA EL DESARROLLO?

Piensa por un momento en el milagro biológico que transformó una sola célula —un cigoto— en el individuo que eres. Los biólogos emplean términos prosaicos para describir esta increíble serie de sucesos. **Desarrollo** es el proceso por medio del cual un organismo pasa de óvulo fecundado a adulto. **Diferenciación** es la especialización de las células embrionarias que las convierte en diferentes tipos de células, como musculares, cerebrales, entre muchas otras. ¿Cómo se diferencian las células unas de otras durante el desarrollo? Sabemos que el cigoto contiene todos los genes necesarios para dirigir la construcción del organismo entero. ¿Se pierde alguno de estos genes durante la diferenciación celular?

Cada célula contiene todos los planos genéticos del organismo

A principios de la década de 1950, los embriólogos norteamericanos Thomas King y Robert Briggs comenzaron a realizar experimentos que posteriormente continuaría el embriólogo británico John Gurdon. Trasplantaron el núcleo de una célula diferenciada tomada del intestino de un renacuajo a un óvulo de rana no fecundado, cuyo núcleo se había extirpado (**FIGURA 41-5**

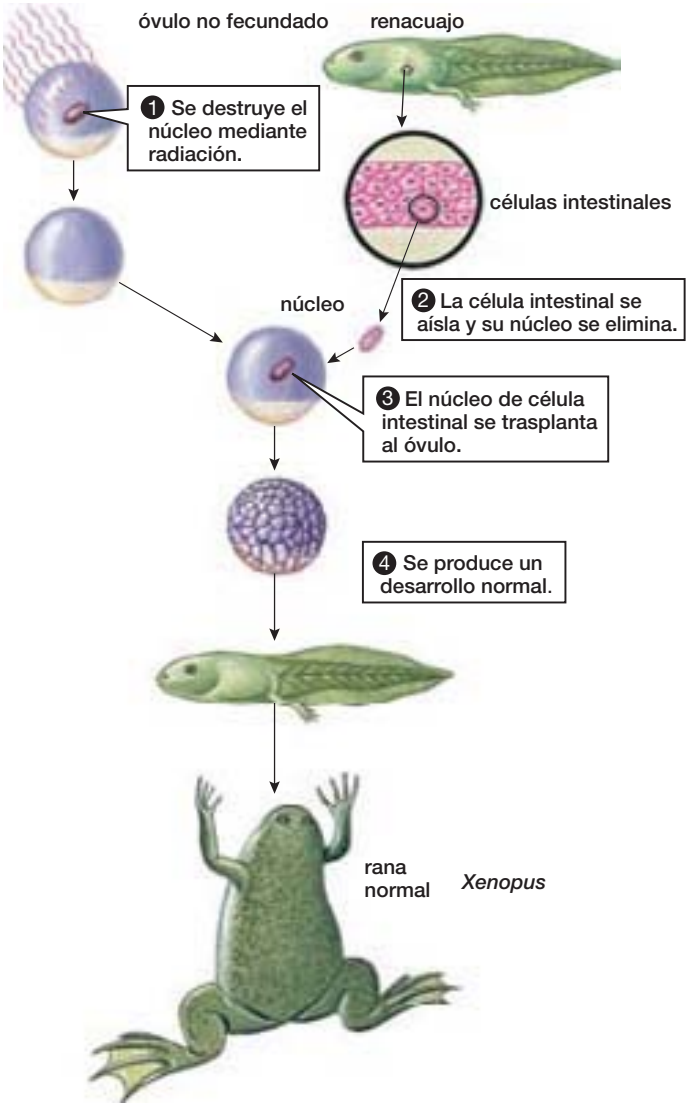

óvulo no fecundado
renacuajo
1 Se destruye el núcleo mediante radiación.
células intestinales
núcleo
2 La célula intestinal se aísla y su núcleo se elimina.
3 El núcleo de célula intestinal se trasplanta al óvulo.
4 Se produce un desarrollo normal.
rana normal
Xenopus

FIGURA 41-5 **Las células conservan todos sus genes durante la diferenciación**
Los investigadores destruyeron el núcleo del óvulo no fecundado de una rana, luego trasplantaron el núcleo de una célula intestinal de un renacuajo al óvulo. El "huevo" resultante se desarrolló para dar origen a una rana normal, lo que demuestra que las células intestinales conservan todos los genes necesarios para el desarrollo del organismo entero. PREGUNTA: En este experimento, ¿el trasplante del núcleo de cualquier célula de una rana adulta habría dado por resultado un desarrollo normal?

hubiera resultado imposible de lograr si se hubieran perdido los genes durante la diferenciación. Estos experimentos apoyaron la hipótesis de que cada célula diferenciada de un animal contiene la información genética necesaria para el desarrollo de todo el organismo. El conocimiento de que todas las células conservan los genes para producir un organismo adulto completo se emplea en la tecnología de células madre, como se describe en "Investigación científica: La promesa de las células madre". Ahora sabemos que las células de diferentes partes de un organismo difieren porque se activan distintos genes que se transcriben a RNA mensajero y se traducen en proteínas.

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA La promesa de las células madre

La capacidad de una sola célula para dar origen a los 200 o más tipos diferentes de células en un organismo adulto es una de las maravillas de la vida. Cada núcleo de una célula contiene toda la información genética para un organismo, y el hecho de que una célula llegue a ser muscular, ósea o cerebral está determinado por factores complejos en el ambiente celular que establecen cuáles genes son activos. Estos factores causan la *diferenciación* de la célula, es decir, asumen una forma y una función especializada. Una **célula madre** o **célula troncal** aún no se ha diferenciado, de manera que continúa dividiéndose y tiene el potencial para dar origen a más de un tipo de célula. Existen muchas esperanzas en torno a las implicaciones médicas de la tecnología de las células madre. Las víctimas de infartos al miocardio, accidentes cerebrovasculares, lesiones de la columna vertebral y enfermedades degenerativas desde la artritis hasta la enfermedad de Parkinson resultarían beneficiadas si los tejidos dañados pudieran regenerase.

Las **células madre embrionarias (ESC**, por las siglas de *embryonic stem cells*) se derivan de la masa celular interna del blastocisto (véase la figura 41-10), un cúmulo de aproximadamente 100 células. En 1998, el doctor James Thompson y sus colaboradores de la Universidad de Winsconsin aislaron por primera vez las ESC humanas, las cultivaron en cajas de Petri y luego las diferenciaron en una variedad de tejidos humanos, como se ilustra en la **FIGURA E41-1**. La ventaja de las ESC es que pueden producir cualquier tipo de célula del cuerpo. Sin embargo, como el blastocisto es un embrión humano en una etapa temprana, algunos legisladores de Estados Unidos están debatiendo en torno a los problemas éticos que implica la asignación de fondos para las investigaciones sobre las células ESC.

Las investigaciones recientes han demostrado que la mayoría de los tejidos de un individuo adulto, incluidos los músculos, la piel, el hígado, el cerebro, el corazón y la sangre, contienen al menos pequeñas cantidades de células madre, llamadas **células madre adultas (ASC**, por las siglas de *adult stem cells*). De hecho, las células madre de la médula ósea, la cual produce tanto glóbulos rojos como blancos, se han empleado durante décadas en trasplantes para tratar enfermedades como la leucemia. Aunque los científicos alguna vez pensaron que las células ASC podían diferenciarse sólo en unos cuantos tipos de células, los investigadores han sido capaces de transformarlas en más variedades de las que inicialmente se creyó posible. El descubrimiento reciente de que la placenta es rica en células madre sanguíneas ha creado gran entusiasmo entre los investigadores, quienes abrigan la esperanza de que las células de esta fuente abundante podría estimularse para formar una variedad de tejidos además de la sangre.

Los tejidos que se derivan de las células madre de un individuo conservan los marcadores genéticos que hacen que los rechace el sistema inmunitario de un receptor diferente, si no se emplean fármacos inmunosupresores. Anticipándose a los nuevos adelantos de la terapia con células madre, algunos padres han solicitado que una muestra de la placenta del recién nacido se conserve por medio de la criogenia, de manera que se tengan disponibles células madre con la composición genética exacta del niño con el fin poder reparar cualquier tejido dañado a lo largo de su vida. En un futuro, los investigadores esperan emplear las técnicas de la ingeniería genética para modificar las proteínas superficiales celulares, de forma que las células madre cultivadas de un individuo puedan emplearse en otras personas sin que surjan problemas de rechazo.

La **clonación terapéutica** —que implica insertar un núcleo celular de un donador adulto, que necesita una reparación tisular, en un óvulo cuyo núcleo ha sido removido— permitiría crear células madre embrionarias que no se rechazarían. Como no se puede descartar que este proceso, si se desarrolla lo suficiente, pudiera utilizarse para producir un clon del donador, aún se encuentra en un estado de controversia.

Un escenario ideal sería estimular las células madre quiescentes (inactivas) que residen en el tejido dañado para que se reproduzcan. Por ejemplo, las células madre del músculo cardiaco podrían estimularse para que remplazaran el tejido muerto debido a un infarto del miocardio. De manera alternativa, los médicos podrían obtener células madre de una persona lesionada, tomándolas de un tejido como la médula ósea, donde abundan, y luego tratarlas con factores de diferenciación específicos e inyectarlas en la parte del cuerpo dañada. De forma ideal, ahí se reproduciría y remplazaría el tejido perdido.

Además de su enorme potencial para restaurar el tejido dañado y combatir las enfermedades, las células madre algún día podrán cultivarse en grandes cantidades y emplearse para probar nuevos fármacos. Los medicamentos que dañan a estas células embrionarias posiblemente dañen también al embrión en desarrollo, por lo que no deberían administrarse a mujeres embarazadas. Las células madre cultivadas podrían utilizarse también para investigar los procesos increíblemente complejos que controlan el desarrollo humano.

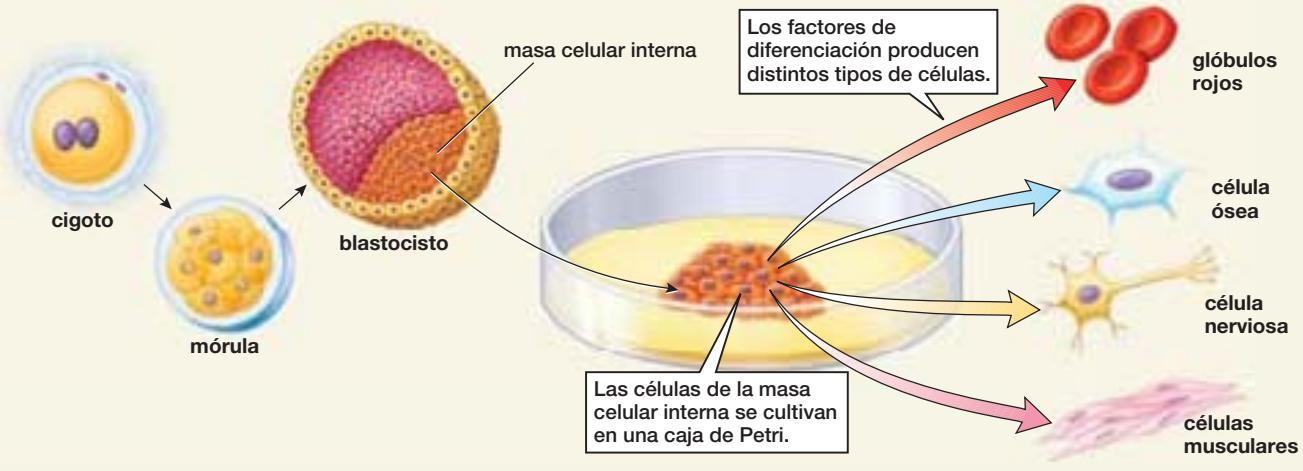


FIGURA E41-1 **Cultivo de células madre de un blastocisto**

La transcripción genética se regula con precisión durante el desarrollo

¿Cómo "decide" una célula que formará parte de un hueso, un músculo o del intestino? En cualquier célula, en un momento dado, sólo se emplea o transcribe una porción de sus genes. Recordarás del capítulo 10 que la *transcripción* es la producción del RNA mensajero utilizando un gen como patrón. La combinación particular de genes que se transcribe en una célula determina la forma, estructura y actividad bioquímica de esa célula. La diferenciación durante el desarrollo se lleva a cabo por medio de un proceso llamado **inducción**. La inducción es el proceso por medio del cual se estimulan células específicas para que sigan una ruta de desarrollo específica; por ejemplo, para que sean musculares u óseas bajo la influencia de mensajeros químicos producidos por otras células. Durante la inducción, los conjuntos de genes se activan de manera selectiva en grupos diversos de células, haciendo que adopten diferentes formas y asuman distintas funciones. En general, las moléculas que controlan la transcripción son proteínas (o proteínas combinadas con sustancias como las hormonas esteroides), que se enlazan a genes específicos y bloquean o promueven la transcripción.

En muchos invertebrados, varias sustancias que regulan los genes se concentran en diferentes partes del citoplasma del huevo, conforme éste se desarrolla. Al dividirse el cigoto, cada una de las células hijas recibe diferentes sustancias reguladoras de los genes; de esta forma, las células hijas tomarán distintas rutas de desarrollo. En contraste, cada una de las células producidas por la segmentación de los cigotos de vertebrados para formar la blástula puede dar origen a un individuo completo si tales células se separan, como ocurre en el caso de los gemelos humanos idénticos.

El destino general del desarrollo de la mayoría de los embriones llega a decidirse durante la gastrulación. En los embriones de los anfibios se forman células de inducción en el punto de invaginación cuando la blástula se transforma en gástrula. Esta área, llamada *labio dorsal del blastoporo*, controla el destino de las células que la rodean, como lo demostraron Hans Spemann y Hilde Mangold al llevar a cabo experimentos de trasplantes en la década de 1920 (**FIGURA 41-6**).

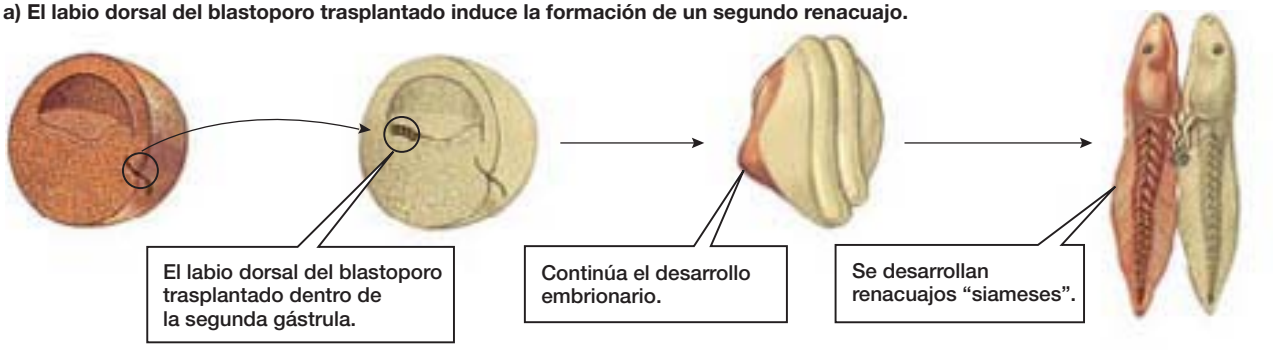
La migración celular puede ser guiada por contacto con las proteínas superficiales

Las células, guiadas por sustancias químicas, migran en el interior del embrión en desarrollo (véase la figura 41-3). El proceso por medio del cual las células llegan a sus sitios adecuados, como en la espina dorsal o un músculo del brazo, es tema de investigaciones profundas. Los receptores de proteínas superficiales asociadas con tipos de células específicos pueden responder a rutas químicas específicas trazadas por las células más próximas. Estas rutas químicas atraen a las células por medio de receptores específicos para que migren por ellas. Aunque aún no se comprenden del todo los mecanismos exactos, la producción de proteínas específicas para el tipo de célula y de caminos por los que esas células migran depende de la transcripción de genes específicos como resultado de la inducción.

Los segmentos del gen homeobox son importantes reguladores del desarrollo

¿Cómo "saben" las diferentes partes de un organismo cuáles genes deben expresar? Aún continúa la búsqueda de la respuesta a esta pregunta aparentemente sencilla; pero el *ho-*

a) El labio dorsal del blastoporo trasplantado induce la formación de un segundo renacuajo.


El labio dorsal del blastoporo trasplantado dentro de la segunda gástrula.
Continúa el desarrollo embrionario.
Se desarrollan renacuajos "siameses".

b) Futuras células de piel trasplantadas son inducidas a formar tejido neural.

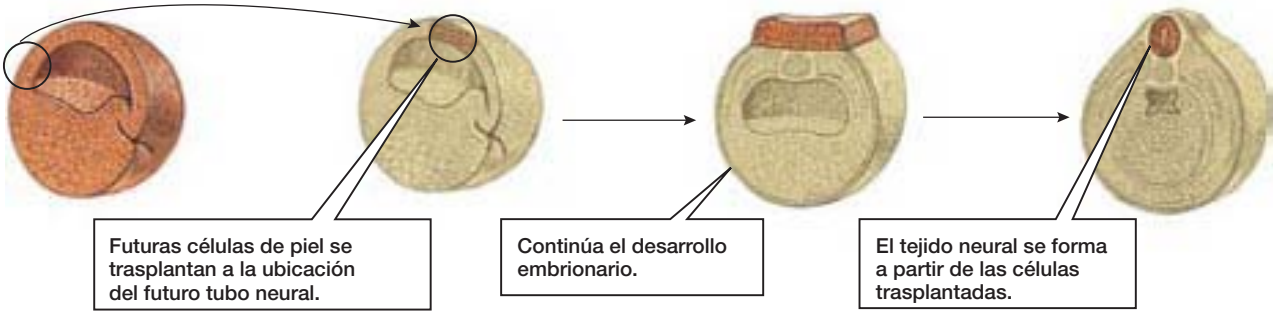

Futuras células de piel se trasplantan a la ubicación del futuro tubo neural.
Continúa el desarrollo embrionario.
El tejido neural se forma a partir de las células trasplantadas.

FIGURA 41-7 Los segmentos de gen homeobox regulan el desarrollo
Debido a una mutación en un gen homeobox, esta mosca de la fruta tiene patas perfectamente formadas en el lugar donde deberían estar las antenas.

meobox, descubierto en la mosca de la fruta a principios de la década de 1980, ofrece una pista importante. Los **homeoboxes** son secuencias cortas de DNA que se encuentran dentro de genes más grandes. Estas secuencias de DNA codifican las secuencias de los aminoácidos dentro de ciertas proteínas. Se han descubierto cientos de segmentos de gen homeobox, y muchos están implicados de alguna forma en el desarrollo inicial. Ligeras diferencias entre los homeoboxes les confieren funciones diversas, como dirigir la formación de las diferentes partes del cuerpo. Los científicos sostienen la hipótesis de que la secuencia de aminoácidos codificada por el segmento homeobox de ciertos genes permite a las proteínas codificadas por esos genes unirse con el DNA. La investigación sugiere que las proteínas de enlace del DNA con los segmentos homeobox son un tipo especial de *factor de transcripción*, una sustancia química que se enlaza a un gen y provoca que éste se "encienda" o se transcriba. Los factores de transcripción con los segmentos homeobox son especiales porque funcionan como reguladores maestros, que actúan sobre todos los genes necesarios para producir una parte específica del cuerpo, como una extremidad. Además, su acción es permanente, causando que los genes afectados se "enciendan" de forma permanente en las células y en su descendencia, comprometiéndolas para siempre a ser parte de una pata, ala u ojo. Si debido a una mutación se altera el segmento de homeobox, éste podría ordenar a una pata que aparezca donde debería aparecer la antena de una mosca de la fruta (FIGURA 41-7).

Los investigadores hicieron el inquietante descubrimiento de que secuencias de DNA homeobox muy similares están presentes en los animales, incluidas las esponjas, medusas, gusanos planos, insectos, ratones y seres humanos. Segmentos homeobox relacionados también se han encontrado en hongos y plantas. Si las secuencias de genes se conservan relativamente inalteradas durante quizá más de 500 millones de años de evolución, ello sugiere que desempeñan un papel importante, como podríamos predecir para un gen regulador maestro que especifica la forma en que se desarrolla el cuerpo de un animal.

41.4 ¿CÓMO SE DESARROLLAN LOS SERES HUMANOS?

El desarrollo humano es controlado por los mismos mecanismos que controlan el desarrollo de otros animales. De hecho, nuestro desarrollo refleja notablemente nuestra herencia evolutiva. La FIGURA 41-8 presenta un resumen del desarrollo embrionario y fetal del ser humano.

Durante los primeros dos meses, la diferenciación y el crecimiento son muy rápidos

El óvulo emite sustancias químicas que atraen a los espermatozoides, lo que aumenta sus oportunidades de ser fecundado. Un óvulo humano por lo regular se fecunda en el oviducto de la mujer y experimenta algunas divisiones en su trayecto hacia el útero, un viaje que toma aproximadamente cuatro días (FIGURA 41-9). Primero se forma una mórula, una esfera sólida de células, a medida que el cigoto comienza a dividirse. Aproximadamente seis días después de la fecundación, la mórula se convierte en una esfera hueca de células, el **blastocisto** (la versión de una blástula en los mamíferos; FIGURA 41-10). Dentro del blastocisto hay una región gruesa, la **masa de células internas** (figura 41-10; véase también la figura 41-9a). Dentro del útero, el blastocisto se introduce en el endometrio, un proceso llamado **implantación**. La capa celular externa se convierte en el corion, el cual será la aportación embrionaria a la placenta; la masa de células internas se convertirá en el embrión y en las otras tres membranas extraembrionarias.

semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6
cigoto a blástula tardía		embrión			
		1.5 a 2.5 mm	3 a 5 mm	7 a 9 mm	8 a 11 mm
La segmentación del cigoto forma la mórula y luego la blástula, que se implanta en el útero.	La blástula se introduce en el endometrio; forma el saco vitelino, amnios y disco embrionario.	Ocurre la gastrulación; se forman el notocordio y el principio del tubo neural; el corazón late.	El tubo neural se cierra; se forman yemas de brazos, cola y hendiduras branquiales.	Se comienzan a formar los ojos; se forman yemas de piernas; el encéfalo crece.	Se forman los pabellones auriculares y dedos con membranas; desaparecen la cola y las hendiduras branquiales.

semana 7	semana 8	semana 10	semana 12	semana 16
embrión		feto		
1.7 a 2.0 cm	2.3 a 2.8 cm	3.2 a 4.4 cm	5 a 7.6 cm	10.2 a 12.7 cm
Se forman dedos del pie con membranas; los huesos comienzan a endurecerse; la espalda se endereza; se forman los párpados.	Se empiezan a formar todos los órganos principales y los genitales masculinos; los brazos se pueden doblar; se distinguen los dedos; toman forma los rasgos faciales y las orejas.	Después de 8 semanas el embrión se llama feto. Se forman los glóbulos rojos; se separan los dedos de los pies; se acaban de desarrollar los párpados; están presentes las partes principales del cerebro; las manos pueden formar puños.	El cuello está bien delineado; están presentes todos los órganos, al igual que los genitales masculinos o femeninos; se mueven los brazos y las piernas; empiezan a formarse los dientes; se detectan los latidos cardiacos por medios electrónicos.	Ocurren movimientos para chupar y deglutir; el hígado y el páncreas comienzan a funcionar. El cuerpo crece en relación con la cabeza; los órganos principales continúan su desarrollo. La madre siente los movimientos; el feto pesa unos 140 gramos.

semana 20	semana 24	semana 30	semana 36
feto			
15.2 a 17.8 cm	20.3 a 22.9 cm	38.1 a 40.6 cm	40.6 a 48.3 cm
El feto se chupa el dedo; los brazos y piernas golpean; el cuerpo puede cambiar de posición. Se forman las uñas, se deposita grasa bajo la piel; aparecen cejas y pestañas.	El cerebro continúa su desarrollo, se desarrolla el sentido del oído; los ojos se pueden mover. El feto presenta hipo, puede entornar los ojos, sonreír y fruncir el ceño. El feto tiene pelo en la cabeza. Aparecen las huellas dactilares y del pie. Pesa entre 500 y 700 gramos.	Continúa el desarrollo del cerebro; los ojos se abren y se cierran y pueden ver la luz; el feto da patadas y se estira; ocurren los movimientos respiratorios, pero los pulmones no han madurado. Los huesos están presentes, sólo que son flexibles. El bebé podría sobrevivir si nace en este momento.	Los ojos se abren y se cierran según los ciclos de sueño y vigilia; aumenta la grasa corporal; los pulmones y otros órganos funcionan. El infante puede asir y orientarse hacia la luz. Pesa entre 2.3 y 2.7 kg, y ya no se le considera prematuro si nace en este momento. El término completo es de 38 semanas.

FIGURA 41-8 Desarrollo del embrión humano

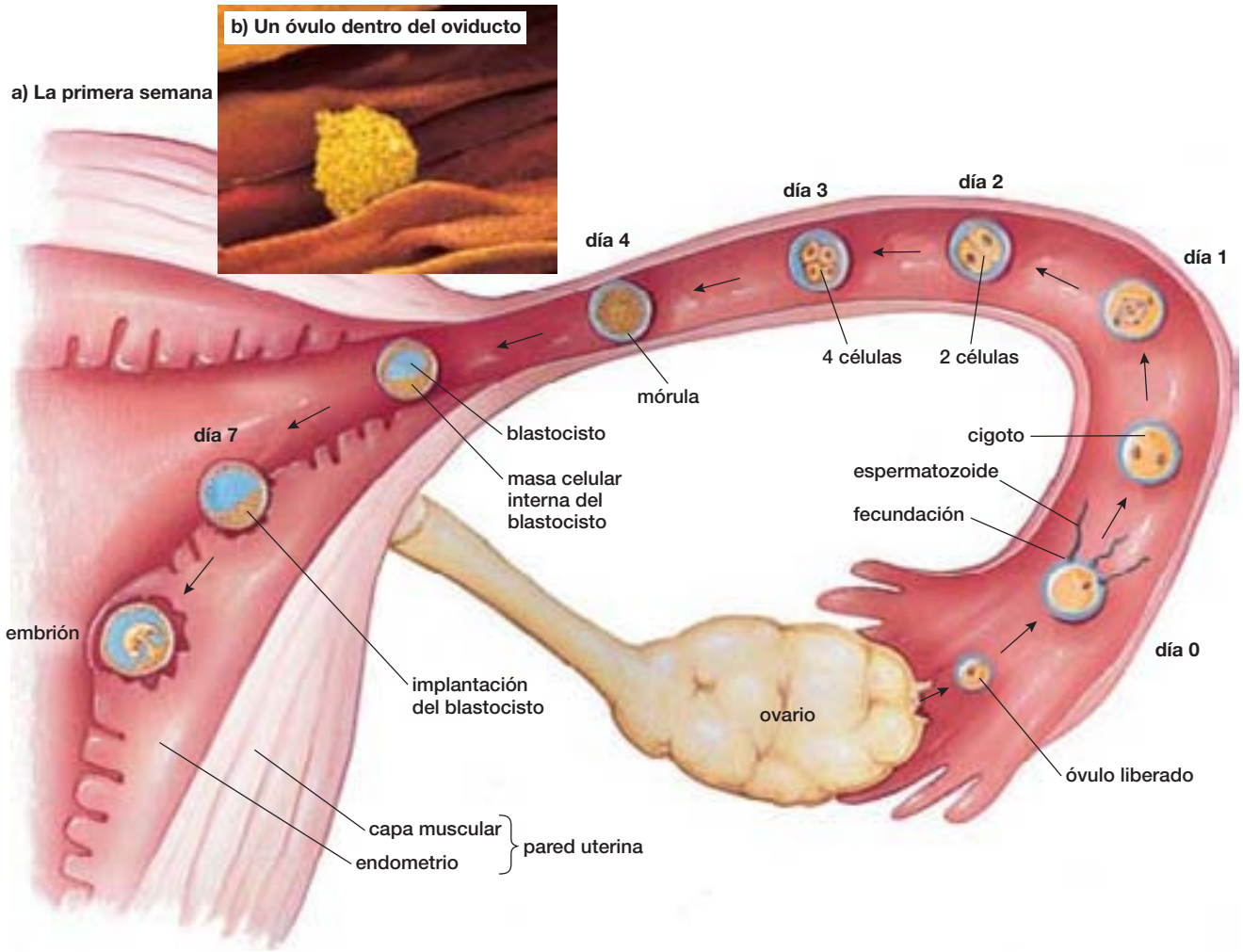


FIGURA 41-9 El recorrido del óvulo
a) El óvulo es fecundado en el tubo del útero (oviducto) y, al dividirse para formar una mórula, viaja hacia el útero; ahí, el blastocisto hueco se implanta en el endometrio y continúa el desarrollo. ***b)*** Fotografía del óvulo, rodeado de células del folículo de la corona radiada, que viaja dentro del oviducto hacia el útero.

Después de la implantación, la masa interior de células crece y se divide para formar dos bolsas llenas de líquido separadas por una doble capa de células llamada **disco embrionario** (figura 41-10b). Una bolsa, delimitada por el amnios, forma la cavidad amniótica. Con el tiempo, el amnios encerrará al embrión en el ambiente acuoso necesario para el desarrollo. El saco vitelino forma la segunda cavidad, aunque en la mayoría de los mamíferos (los que forman placenta, llamados *mamíferos placentarios*

bución del embrión para la placenta, extiende pequeñas prolongaciones llamadas **vellosidades coriónicas** hacia el endometrio del útero. Los vasos sanguíneos embrionarios invaden las vellosidades coriónicas, llevando la sangre bombeada por el corazón del embrión, el cual comienza a latir aproximadamente en el día 22. A medida que el embrión crece durante la cuarta semana (**FIGURA 41-11**), el endodermo forma un tubo —el intestino embrionario—, que se convertirá en el tracto digestivo. El cordón umbilical se forma a partir del tallo vitelino y el tallo corporal. El *tallo vitelino* conecta el saco vitelino con el intestino embrionario (un "remanente" evolutivo en los mamíferos del papel que desempeña el vitelo en la nutrición de los embriones de peces, aves y reptiles). El embrión está conectado al corion por medio del *tallo corporal* que incluye la alantoides y los vasos sanguíneos embrionarios. Dentro del embrión, el ectodermo forma estructuras que se convertirán en el cerebro y la espina dorsal. Para la cuarta semana, el embrión se pliega hacia el interior dentro de la cavi-

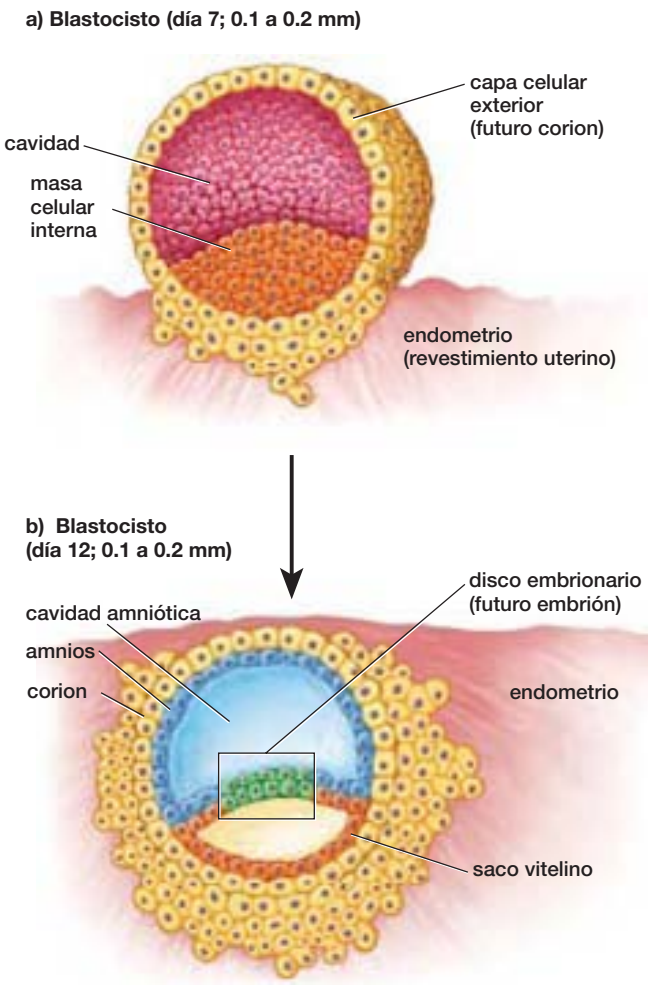


FIGURA 41-10 Un implante de blastocisto
Al meterse en el revestimiento uterino, la capa celular exterior del blastocisto forma el corion, la contribución embrionaria a la placenta. ***b)*** El blastocisto penetra profundamente en el endometrio. La masa celular interna forma el amnios, el saco vitelino y el disco embrionario (futuro embrión).

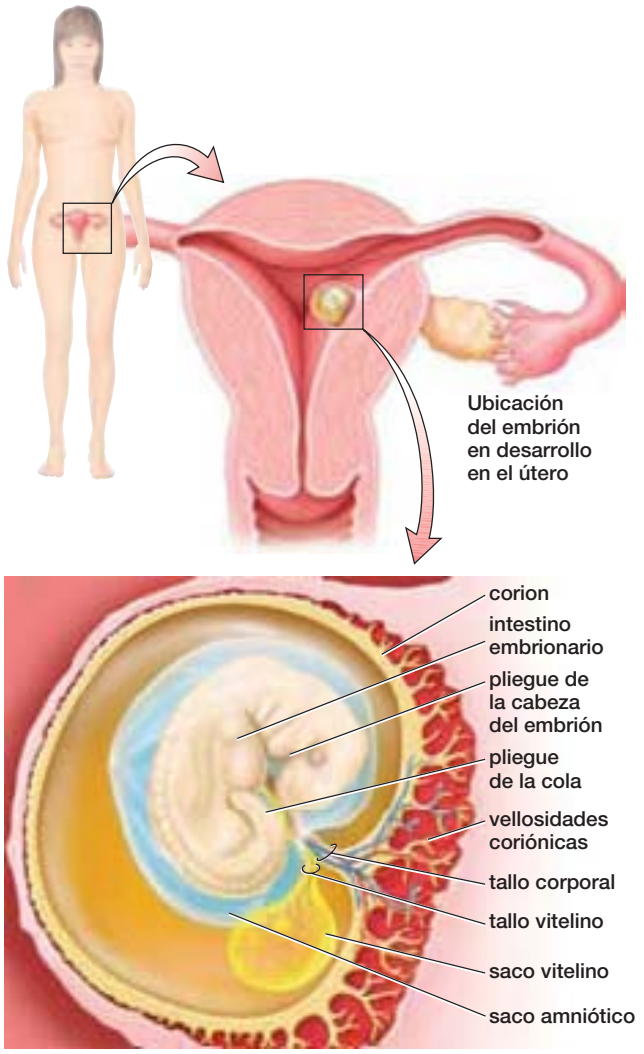


FIGURA 41-11 Embrión humano de cuatro semanas
El endodermo forma el intestino embrionario (futuro tracto digestivo), el cual está conectado al saco vitelino por el tallo vitelino. El tallo corporal lleva la sangre embrionaria a las vellosidades coriónicas.

dad uterina, rodeado completamente por el amnios. Está unido a la placenta por el *tallo umbilical* (el futuro cordón umbilical; véase la figura 41-11). Se distingue claramente la cola.

Durante la sexta semana, el embrión muestra con claridad sus características ancestrales de cordado (véase el capítulo 24 para más información sobre los cordados), pues para entonces ha desarrollado un notocordio, una cola prominente y *hendiduras faríngeas* (surcos en la parte posterior de la cabeza, que son equivalentes a las branquias desarrolladas que conservan los peces y algunos anfibios cuando son adultos; **FIGURA 41-12**). Estas estructuras desaparecen en las semanas que siguen. Aunque su longitud es de unos 2.5 centímetros, el embrión ya tiene los principios rudimentarios de ojos y un cerebro que se desarrolla rápidamente.

Cuando se acerca el final del segundo mes, se han formado casi todos los órganos principales (**FIGURA 41-13**). Aparecen las gónadas y se desarrollan en testículos u ovarios. Se secretan las hormonas sexuales: los testículos secretan testosterona y los ovarios, estrógeno. Estas hormonas afectarán el futuro desarrollo de los órganos embrionarios, no solamente los reproductores, sino también ciertas regiones cerebrales. Después del segundo mes de desarrollo, el embrión recibe el nombre de **feto** y va adquiriendo una apariencia humana.

Los primeros dos meses del embarazo son una etapa de rápida diferenciación y crecimiento del embrión, y durante ese periodo existe un peligro considerable. Aunque el embrión es vulnerable durante todo su desarrollo, los órganos que están creciendo con rapidez son los más sensibles a las sustancias tóxicas, como las drogas (incluido el alcohol y la nicotina) y ciertos medicamentos que pudiera consumir la madre.

La placenta secreta hormonas y permite el intercambio de materiales entre la madre y el embrión

Durante la segunda semana del embarazo, el blastocisto se introduce en el revestimiento engrosado del útero y obtiene nutrimentos del endometrio (véase la figura 41-10). La capa externa del blastocisto forma el corion, el cual comienza a pe-

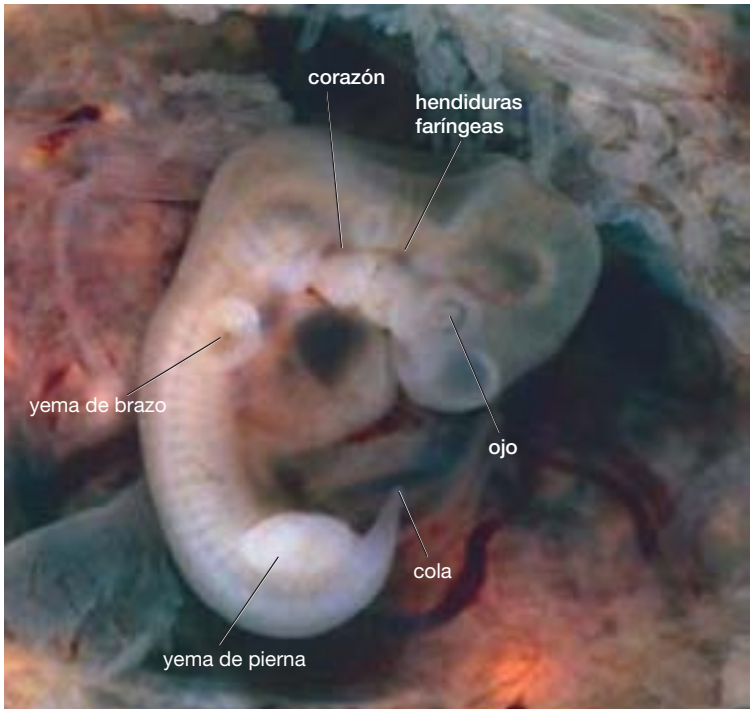


FIGURA 41-12 Embrión humano de seis semanas
Al iniciarse la sexta semana, la cabeza abarca cerca de la mitad del embrión humano. Se forman las yemas de piernas y brazos; se observan claramente la cola y las hendiduras faríngeas.

FIGURA 41-13 Embrión humano de ocho semanas
El embrión ha adquirido apariencia humana y recibe el nombre de feto.

netrar en el endometrio con las *vellosidades coriónicas* en forma de dedos. Durante la tercera semana, la **placenta** comienza a formarse a partir de esta compleja red de tejidos del embrión y el endometrio del útero. La placenta desempeña dos funciones principales: secreta hormonas y permite el intercambio selectivo de materiales entre la madre y el feto.

Al desarrollarse durante los dos primeros meses del embarazo, la placenta comienza a secretar estrógeno y progesterona. El estrógeno estimula el crecimiento del útero de la madre y las glándulas mamarias; la progesterona también estimula las glándulas mamarias e inhibe las contracciones prematuras del útero.

La placenta también regula el intercambio de materiales entre la sangre de la madre y la del feto, y no deja que se mezclen una con otra. Las vellosidades coriónicas contienen una densa red de capilares fetales y están bañadas por depósitos de sangre materna (**FIGURA 41-14**). El oxígeno se difunde; los nutrimentos pasan por difusión o mediante transporte activo

de la sangre materna a los capilares del feto, para llegar después al feto por medio de la vena umbilical fetal. Las arterias umbilicales transportan el dióxido de carbono y los desechos, como la urea, del feto hacia la madre. El dióxido de carbono se libera de los pulmones de la madre, y la urea del feto se excreta a través de los riñones de la mamá.

Las membranas de los capilares y las vellosidades coriónicas, al permitir el intercambio por difusión, actúan como barreras para algunas proteínas grandes y la mayoría de las células. A pesar de esto, algunos organismos patógenos y muchas sustancias químicas dañinas, como el alcohol y la nicotina, logran penetrar la barrera de la placenta, como se describe en "Guardián de la salud: La placenta sólo brinda una protección parcial".

El crecimiento y el desarrollo continúan durante los últimos siete meses

El feto continúa creciendo y desarrollándose durante otros siete meses. Aunque el resto del cuerpo trata de "alcanzar" a la cabeza en cuanto a tamaño, el encéfalo continúa desarrollándose rápidamente y la cabeza sigue siendo grande en relación con el resto del cuerpo. Casi todas las células nerviosas que se forman durante la vida humana se desarrollan durante la etapa embrionaria; por eso, el encéfalo en desarrollo es un blanco tan sensible para el alcohol y otras drogas que se consumen durante el embarazo. A medida que crecen la columna vertebral y el cerebro, comienzan a generar tipos específicos de comportamientos. Al iniciarse el tercer mes del embarazo, el feto empieza a moverse y a responder a los estímulos. Aparecen algunos comportamientos instintivos, como el de succión, que permitirá al bebé alimentarse con la leche materna tan pronto como nazca. Las estructuras que necesitará el feto cuando salga del útero, como pulmones, estómago, intestinos y riñones, aumentan de tamaño y se vuelven funcionales en forma gradual, aunque no se utilizarán sino hasta después del nacimiento. Casi todos los fetos de 32 semanas de edad o más pueden sobrevivir fuera del vientre materno si reciben asistencia médica; las medidas heroicas que se toman a menudo salvan a los infantes que nacen a edad tan temprana como las 26 semanas, pero los fetos más maduros tienen mayores oportunidades de sobrevivir y de tener buena salud.

El desarrollo culmina con el parto y el alumbramiento

Por lo regular, durante los últimos meses del embarazo, el feto se acomoda con la cabeza hacia abajo en el útero, y la coronilla descansa contra el cérvix (que lo sostiene hacia arriba). El proceso del nacimiento por lo general comienza alrededor del término del noveno mes (**FIGURA 41-15**). El nacimiento es el resultado de una compleja interacción entre el estiramiento del útero causado por el crecimiento del feto y las hormonas fetales y maternas, lo que finalmente inicia el **parto** (contracciones del útero que dan como resultado el *alumbramiento*, es decir, la expulsión del feto por el útero).

A diferencia de los músculos esqueléticos, los músculos uterinos pueden contraerse de manera espontánea, y el estiramiento intensifica esa tendencia. A medida que el bebé crece, estira los músculos uterinos, los que ocasionalmente se contraen semanas antes del alumbramiento. Se desconocen los estímulos exactos que desencadenan el alumbramiento humano. El feto que cumple con su término completo sin du-

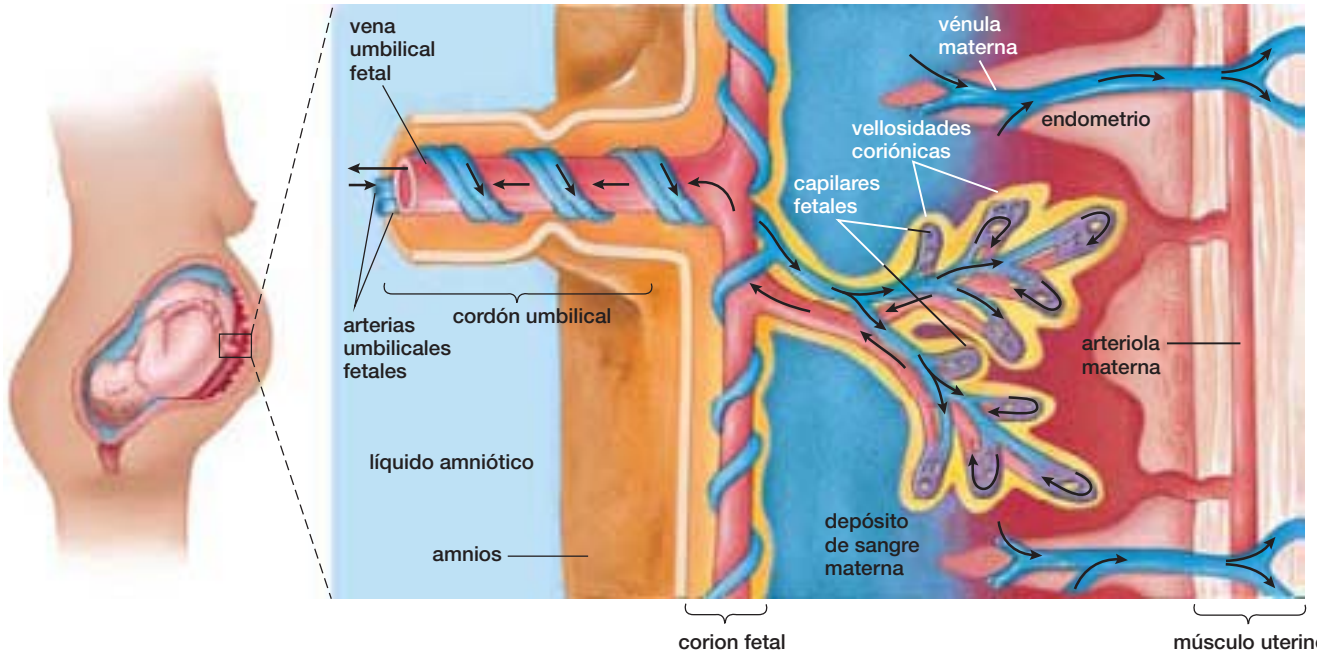
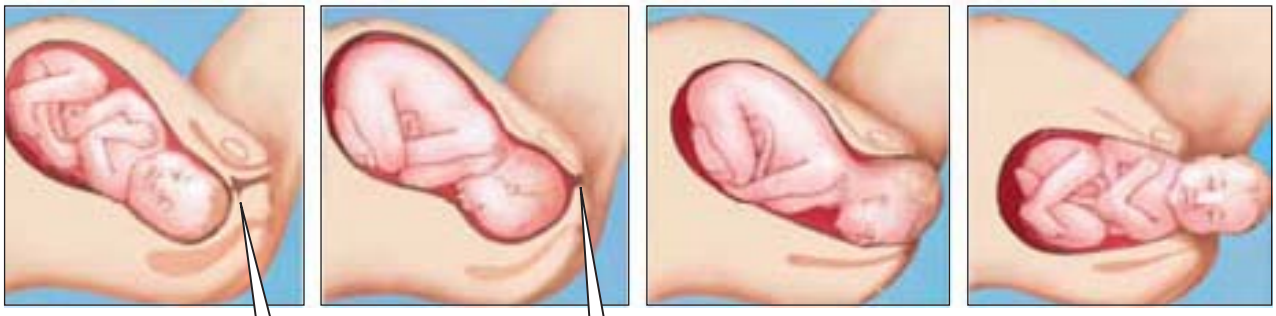


FIGURA 41-14 La placenta
La placenta se forma a partir tanto del corion del embrión como del endometrio de la madre. Los capilares del endometrio se rompen y liberan sangre para formar depósitos dentro de la placenta. Las vellosidades coriónicas que contienen los capilares embrionarios se prolongan hacia dentro de estos depósitos. La placenta permite el intercambio de desechos y nutrimentos entre los capilares fetales y los depósitos de sangre materna, al tiempo que mantiene separados los suministros de sangre fetal y materna. Las arterias umbilicales conducen la sangre desoxigenada del feto hacia la placenta, y la vena umbilical lleva de regreso la sangre oxigenada hacia el feto. PREGUNTA: Unos cuantos tipos de mamíferos carecen de placenta. ¿Cuál sería tu predicción acerca de la naturaleza del desarrollo en los mamíferos que no tienen placenta?



❶ La cabeza del bebé está orientada hacia abajo, con la cara hacia uno de los costados de la madre. El cérvix se empieza a adelgazar y a dilatarse (es decir, expande su diámetro).

❷ El cérvix está completamente dilatado (10 cm) y la cabeza del bebé entra en la vagina o canal del parto. El bebé se voltea hacia la espalda de la madre.

❸ La cabeza del bebé está saliendo.

❹ El bebé gira para colocarse de nuevo hacia un lado mientras sus hombros van saliendo.

FIGURA 41-15 El parto

da desempeña un papel importante en la secreción de sustancias que indican que ya está listo para nacer. Esas sustancias desencadenan una cascada de sucesos que hacen que el útero tenga aún más probabilidad de contraerse. Cuando la combinación de hormonas y estiramiento activa al útero más allá de cierto punto crítico, comienzan las contracciones fuertes que indican el inicio del trabajo de parto. A medida que siguen las contracciones, la cabeza del bebé empuja contra el cérvix de la madre, lo que causa que su diámetro se expanda (se dilate). Los receptores de dilatación de las paredes del cérvix envían señales al hipotálamo y provocan la liberación de oxitocina. Bajo el doble estímulo de la prostaglandina y la oxitocina, el útero se contrae todavía con mayor fuerza. Este ciclo de retroalimentación positiva finalmente cesa cuando el bebé sale de la vagina, o *canal de parto*.

La cabeza del infante es tan grande que apenas puede pasar por la pelvis de la madre. El cráneo se comprime hasta adquirir una forma ligeramente cónica a medida que pasa a través de la vagina. No sabemos si el alumbramiento resulta doloroso para el bebé, pero sin duda lo es para la madre (véase "Enlaces con la vida: ¿Por qué el parto es tan difícil?"). Al infante le espera un despertar rudo. La matriz es suave, tibia y acolchonada con líquido. De repente, el bebé tiene que respirar por sí solo, regular su temperatura corporal y succionar para obtener alimento.

Luego de un breve descanso después del parto, el útero reanuda sus contracciones y se encoge considerablemente. Durante estas contracciones la placenta se desprende de la pared uterina y es expelida a través de la vagina (lo que se conoce como *secundinas*). El cordón umbilical ahora libera prostaglandinas que provocan la contracción de los músculos que rodean los vasos sanguíneos fetales para detener el flujo de sangre. Aunque ligar el cordón umbilical es una práctica común, en realidad no es necesaria; si lo fuera, otros mamíferos no sobrevivirían después de nacer.

Las hormonas del embarazo estimulan la secreción de leche

rimenta la madre en las glándulas mamarias la preparan para que continúe alimentando al bebé después de nacido. Cuando ocurre el embarazo, grandes cantidades de estrógeno y de progesterona (las cuales actúan junto con otras hormonas) estimulan a las **glándulas mamarias** —que producen leche materna— y hacen que las mamas aumenten de volumen y desarrollen la capacidad para secretar la leche necesaria para alimentar al infante. Las glándulas mamarias están dispuestas en círculos alrededor del pezón, y cada glándula cuenta con un conducto lactífero que termina en el *pezón,* el cual es una proyección del tejido epitelial (**FIGURA 41-16**). La secreción real de leche, llamada **lactancia**, se activa por medio de la hormona hipofisiaria llamada *prolactina.*

El nivel de prolactina se eleva de manera uniforme desde aproximadamente la quinta semana de embarazo y llega a su

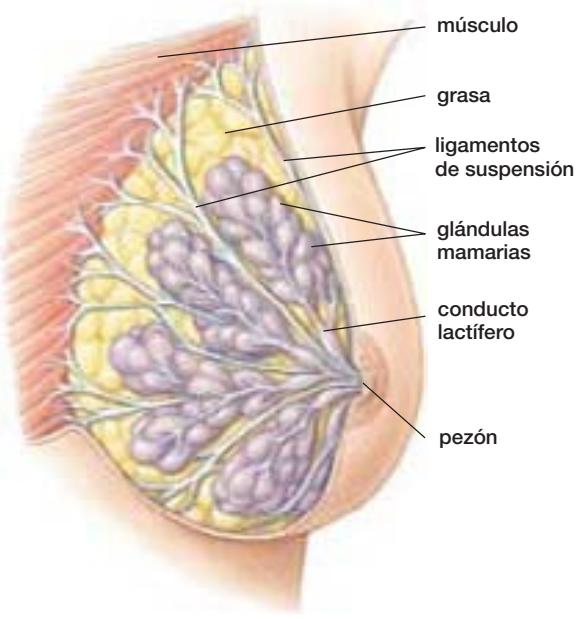


FIGURA 41-16 Estructura de las glándulas mamarias
Durante el embarazo, el tejido adiposo, las glándulas que secretan leche y los conductos lactíferos aumentan de tamaño.

GUARDIÁN DE LA SALUD La placenta sólo brinda una protección parcial

Durante la primera mitad del siglo XX, los médicos pensaban que la placenta protegía el desarrollo del feto de casi todas las sustancias dañinas presentes en la sangre materna. Ahora sabemos que esto no es verdad. De hecho, la mayoría de los fármacos (tanto medicinales como "recreativos") e incluso algunos organismos patógenos cruzan rápidamente la barrera de defensa de la placenta y afectan al feto.

LAS INFECCIONES PUEDEN ATRAVESAR LA PLACENTA

La bacteria de la sífilis y los virus que causan el herpes genital y el sarampión en ocasiones cruzan la placenta y dañan al embrión en desarrollo. Los infantes pueden nacer con VIH, transmitido por la madre a través de la placenta.

LOS FÁRMACOS CRUZAN RÁPIDAMENTE LA PLACENTA

Un ejemplo trágico de un fármaco que cruza la placenta es la *talidomida*, la cual se prescribía comúnmente en Europa a finales de la década de 1950 y a principios de la de 1960, como medicamento sedante y para combatir las náuseas matinales propias del embarazo. Los efectos devastadores de la talidomida en el embrión se pusieron de manifiesto cuando muchos bebés nacieron sin extremidades o con deformaciones en ellas. A finales de la década de 1980, se encontró que el fármaco contra el acné Accutane® causaba severas deformidades en los bebés de las madres que lo usaban. Los investigadores ahora saben que el Accutane contiene una sustancia que actúa de una manera similar a las moléculas reguladoras naturales que controlan la formación del cuerpo del embrión en desarrollo. Un ejemplo más reciente es el ácido valproico, un anticonvulsivo, que se prescribe comúnmente para controlar la epilepsia. Un estudio demostró que los niños de las madres que habían tomado este fármaco durante el embarazo tenían una probabilidad siete veces mayor de presentar defectos congénitos, y otra investigación demostró que el promedio de los cocientes de inteligencia (CI) de los niños que habían sido expuestos al ácido valproico antes de nacer eran significativamente más bajos durante la niñez.

Aunque estos son ejemplos extremos, cualquier fármaco, incluida la aspirina, tiene el potencial de dañar al feto. Cualquier mujer que piensa que está embarazada debe consultar a su médico acerca de los fármacos que podría usar sin ningún riesgo.

LOS EFECTOS DEL TABAQUISMO

Muchas mujeres son tan adictas al tabaco que no dejan de fumar durante el embarazo y exponen al bebé a los efectos nocivos de la nicotina, el monóxido de carbono y una variedad enorme de sustancias carcinógenas. Como resultado, presentan una incidencia mayor de abortos y tienen tendencia a dar a luz a infantes más pequeños, los cuales presentan un riesgo mayor de morir poco después del nacimiento. Hay evidencia de que algunos hijos de mujeres adictas al tabaco también sufren trastornos de conducta y deficiencias intelectuales.

TRASTORNOS DEL SÍNDROME DE ALCOHOLISMO FETAL

Los efectos del alcohol en el feto que se está desarrollando son devastadores. Cuando una mujer embarazada es bebedora, el alcohol en la sangre del nonato alcanza un nivel tan alto como el que está presente en la sangre de la madre y no se metaboliza rápidamente. Una mujer que ingiere una o dos copas al día durante los primeros tres meses del embarazo incrementa de manera significativa sus riesgos de sufrir un aborto. A pesar de las advertencias que vienen impresas en las botellas de vino y de cerveza, más del 12 por ciento de las mujeres estadounidenses beben alcohol durante el embarazo, por lo que cada año nacen unos 40,000 infantes con *trastornos del espectro del síndrome de alcoholismo fetal* (SAF), es decir, cualquiera de las discapacidades causadas por exposición prenatal al alcohol. Las mujeres que beben aunque sea poco durante el embarazo tienen hijos más pequeños en promedio, y un extenso estudio descubrió que estos niños son más proclives a mostrar ansiedad, depresión o agresividad. Muchos niños de madres que beben demasiado y en forma continua (cuatro, cinco o más copas al día) o que ocasionalmente consumen cinco copas (o más) de una sola vez presentan el síndrome de alcoholismo fetal. Estos niños tienen una inteligencia por debajo del promedio, son hiperactivos e irritables y manifiestan un control deficiente de sus impulsos. Ciertas deformidades faciales sirven de base para diagnosticar el SAF (**FIGURA E41-2b**). En los casos extremos, los niños que sufren del SAF tienen la cabeza más pequeña y su cerebro muestra un desarrollo inadecuado (**FIGURA E41-2a**). Los niños con SAF sufren retrasos en el crecimiento y presentan una incidencia por arriba de lo normal de defectos en el cora-

punto máximo una vez que nace el infante, lo que estimula la producción de leche. La leche empieza a salir cuando el bebé succiona estimulando las terminales nerviosas de los pezones, lo que envía una señal al hipotálamo para que la glándula hipófisis libere una cantidad adicional de prolactina y oxitocina. Esta última hormona hace que se contraigan los músculos que rodean a las glándulas mamarias, enviando así la leche hacia los conductos que terminan en los pezones (véase la figura 41-16).

Durante los primeros días después del nacimiento del bebé, las glándulas mamarias secretan un líquido aguado y de color amarillento llamado **calostro**. El calostro es rico en proteínas y anticuerpos provenientes de la madre, lo que ayuda a proteger al infante de las enfermedades mientras se desarrolla su sistema inmunitario. El calostro es remplazado gradualmente por la leche madura, que contiene más grasas y azúcar (lactosa) y menos proteínas.

El envejecimiento es inevitable

El proceso de envejecimiento se inicia desde el momento en que se nace. Durante miles de años, los seres humanos han intentado demorar el envejecimiento y prolongar la vida. La mítica "fuente de la juventud" ha sido remplazada por elíxires más modernos. Estas píldoras, hormonas y dietas, de las cuales se asegura que retardan el envejecimiento, sólo tienen algo en común: ninguna de ellas ha demostrado que realmente funciona.

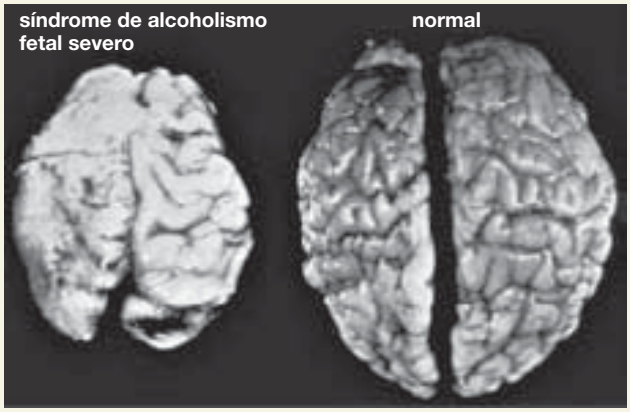
Pero, ¿qué es el **envejecimiento** (**FIGURA 41-17**)? Los investigadores han definido el envejecimiento como una acumulación gradual del deterioro aleatorio de las moléculas biológicas esenciales, en particular el DNA, que se inicia en una edad temprana. Con el tiempo, se rebasa la capacidad del organismo para reparar o compensar el daño, lo que deterio-

zón y otros órganos. Los daños son irreversibles y en ocasiones mortales.

El síndrome de alcoholismo fetal es la causa principal del retraso mental en Estados Unidos, ya que cuando menos 4000 infantes nacen con SAF cada año (aproximadamente 1 de cada 1000 nacimientos). Los investigadores han llegado a la conclusión de que no hay nivel de seguridad en el consumo de alcohol durante ninguna fase del embarazo. Por su parte, el Departamento de Salud de Estados Unidos aconseja a las mujeres embarazadas o a las que piensan embarazarse que eviten por completo el consumo de alcohol.

En resumen, una mujer embarazada debe dar por hecho que cualquier droga que consuma afectará al infante en desarrollo. Las mujeres que tienen probabilidad de quedar embarazadas necesitan saber que las etapas cruciales del desarrollo podrían ocurrir incluso antes de enterarse que están embarazadas, así que deben tener las mismas precauciones que tendrían si tuvieran la certeza de estar encintas. Las decisiones que tomen las madres durante este periodo crítico de nueve meses influirán de forma decisiva en el futuro bienestar del niño.

a)



b)

FIGURA E41-2 El alcohol perjudica el desarrollo encefálico ***a)*** El cerebro de un niño de seis semanas de edad con un severo síndrome de alcoholismo fetal (izquierda) y el cerebro de un niño normal de la misma edad (derecha) ponen de manifiesto los efectos devastadores del alcohol en un cerebro en desarrollo. (Fotografía cortesía del doctor Sterling Clarren, de la Universidad de Washington, Seattle). ***b)*** Los niños con SAF por lo general tienen ojos que se angostan de lado a lado, carecen de una hendidura bien definida entre la nariz y el labio superior, y poseen un labio superior angosto. (Fotografía cortesía de la doctora Susan Astley, de la Universidad de Washington, Seattle).

FIGURA 41-17 La juventud se encuentra con la vejez

ra el funcionamiento a todos los niveles, desde las células y tejidos hasta los órganos. El envejecimiento se manifiesta de diversas maneras: se pierde la masa muscular y ósea, la piel pierde elasticidad, se prolonga el tiempo de reacción, mientras que los sentidos, como el de la vista y el oído, se vuelven menos agudos. Una respuesta inmunitaria menos potente hace que el individuo se vuelva más vulnerable a las enfermedades conforme envejece. A la larga, el individuo ya no puede luchar contra las amenazas naturales y entonces sobreviene la muerte.

¿El envejecimiento, que conduce a la muerte, es una etapa natural del desarrollo programada como parte del ciclo vital? Desde una perspectiva evolutiva, el envejecimiento se considera más el resultado de la negligencia que de la programación genética. La selección natural conserva solamente aquellos mecanismos que mantienen vivo y saludable a un

ENLACES CON LA VIDA ¿Por qué el parto es tan difícil?

Seguramente has visto películas de animales que están pariendo. En comparación con lo que experimentan las mujeres cuando dan a luz, en los animales este acto pareciera indoloro y que no demanda esfuerzo. ¿Entonces, por qué el parto en el caso de los humanos es tan diferente? Las investigadoras Karen Rosenberg y Wenda Trevathan encontraron que el parto asistido es universal a través de la inmensa escala de las culturas humanas. Ellas y otros investigadores consideran que la ayuda en un nacimiento es el resultado de dos rasgos humanos. Primero, caminamos erguidos y este *bipedalismo* ha alterado la forma de la pelvis. Segundo, tenemos una cabeza relativamente grande cuando nacemos, que apenas cabe por la abertura de la pelvis y que por lo regular se deforma temporalmente durante el parto. Estos rasgos humanos fuerzan al infante a salir tomando una posición extraña, un poco hacia atrás y a los lados (véase la figura 41-15). La cabeza grande del bebé hace que el parto resulte difícil y doloroso, de manera que la madre se encuentra algo incapacitada a medida que va naciendo el bebé. Los simios, cuyas cabezas son relativamente más pequeñas, nacen casi sin ningún esfuerzo, con la cabeza y el cuerpo hacia delante, lo que permite a la madre agacharse para ayudar a que salga la cría y llevarlo hacia su pecho sin ninguna ayuda. Los investigadores postulan que como los cerebros y las cabezas de nuestros ancestros primitivos aumentaron de tamaño en forma drástica, al mismo tiempo aumentó la dificultad e incomodidad relacionadas con el parto, por lo que se hizo necesaria la asistencia durante el proceso.

organismo durante la época en que produce y alimenta a su prole. Los mecanismos de reparación que prolongan la vida más allá de este periodo no se han visto favorecidos por la selección natural. Además, las mutaciones perniciosas cuyos efectos se manifiestan sólo después de que un organismo ha terminado de reproducirse se transmiten a la descendencia, por lo que se diseminan rápidamente y se acumulan dentro de una población.

Un factor que contribuye al daño celular que se va acumulado con el envejecimiento es la producción de radicales libres (véase el capítulo 2), los cuales atacan a los componentes celulares. Los radicales libres se generan como productos de muchas reacciones bioquímicas cruciales, en particular aquellas que aprovechan la energía. Un organismo moriría casi inmediatamente si se detuviera la producción de energía; sin embargo, resulta irónico que las mismas reacciones metabólicas que producen la energía útil puedan, indirectamente y con el tiempo, llevar a la muerte a un organismo. La capacidad para reparar un daño, particularmente del DNA, reside en las enzimas que también están codificadas por el DNA. Estas enzimas llegan a ser menos funcionales a medida que se acumulan las mutaciones en los genes que las codifican, condenando al organismo a la gran cantidad de errores genéticos y al mal funcionamiento metabólico.

Los investigadores han criado animales genéticamente simples —como las moscas de la fruta y los nematodos— para que vivan más tiempo y están estudiando las diferencias genéticas entre los individuos cuyo periodo de vida es normal y aquellos que viven más tiempo. Todavía está por verse si los cambios genéticos hechos como resultado de este conocimiento pueden hacer la diferencia en la duración de la vida humana. Es posible que cientos de rutas bioquímicas determinadas genéticamente desempeñen un papel interrelacionado en la longevidad. ¿Sería deseable prolongar la vida humana, a pesar de los problemas de salud que acompañan a la vejez y a la reducción de los recursos de un planeta superpoblado? Nadie lo sabe, pero podemos estar seguros de que esto aún está lejos de volverse realidad.

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO

LOS ROSTROS DEL SÍNDROME DE ALCOHOLISMO FETAL

La madre de John Kellerman llegó ebria a un hospital de Denver. Cuando se le rompió la fuente (se refiere a la liberación del líquido amniótico cuando se rompe el amnios, generalmente durante el trabajo de parto), el olor a alcohol llenó toda la sala de partos del hospital. El recién nacido literalmente nadaba en él. Y aunque nunca había bebido alcohol, John nació intoxicado. Su madre adoptiva explica que si John no toma su medicamento, su comportamiento se asemeja al de una persona alcoholizada: se muestra necio, veleidoso y carente de control de sus impulsos. Lo que escriben los jóvenes con SAF nos permite conocer las dificultades a las que se enfrentan cada día durante toda su vida. John, en su poema *Help* (*Ayuda*), nos dice:

Cuando mi cerebro no está trabajando bien,
permito que me ayude alguien en quien confío para sentirme seguro y tranquilo otra vez.
Cuando mi cerebro no está trabajando bien,
me siento como si fuera en un tren que va cuesta abajo, con el maquinista dormido;
no puedo despertarlo
y no puedo aplicar los frenos.

Por su parte, CJ, una víctima del SAF, de Canadá, nos explica:

Soy pequeña, tengo una cara diferente
y bastantes problemas de aprendizaje.
Las mamás no hicieron esto a propósito,
por eso no hay que culparlas ni enojarse con ellas.
Tengo 17 años y he padecido el SAF toda la vida.
Lo tendré para siempre,
nunca desaparecerá.
No me culpen ni se enojen conmigo.

Piensa en esto En unas 20 entidades de Estados Unidos la legislación establece que las mujeres que consuman drogas ilegales o abusen del alcohol durante el embarazo serán juzgadas por la ley con el fin de proteger los derechos del feto. ¿Cómo piensas que la sociedad debe enfocar el dilema de las mujeres embarazadas que de manera inconsciente y con frecuencia causan daños a sus hijos que están por nacer? ¿Es esto un abuso en contra de los niños? Con base en lo que sabes ahora acerca del desarrollo, ¿qué harías si una amiga tuya que está embarazada continúa fumando, bebiendo o consumiendo drogas ilegales?

REPASO DEL CAPÍTULO

RESUMEN DE CONCEPTOS CLAVE

41.1 ¿En qué difieren el desarrollo indirecto y el directo?

Los animales experimentan un desarrollo indirecto o directo. En el desarrollo indirecto, los huevos (por lo común con relativamente poca cantidad de vitelo) dan origen a larvas, las cuales se desarrollan a través de una etapa de alimentación y luego sufren una metamorfosis para volverse adultos adquiriendo formas corporales notablemente diferentes. En el desarrollo directo, el animal recién nacido es sexualmente inmaduro y se asemeja a un adulto, pero en miniatura. Los animales con desarrollo directo tienden a producir huevos grandes llenos de vitelo, o bien, el embrión en desarrollo se alimenta dentro del cuerpo de la madre. En las aves, los reptiles y los mamíferos, las membranas extraembrionarias (corion, amnios, alantoides y saco vitelino) encierran al embrión en un espacio lleno de líquido y regulan el intercambio de nutrimentos y desechos entre el embrión y su ambiente.

41.2 ¿Cómo procede el desarrollo animal?

El desarrollo animal ocurre en varias etapas. *Segmentación:* El óvulo fecundado experimenta divisiones celulares casi sin crecimiento, de forma que el citoplasma del huevo se divide en células más pequeñas. La división por segmentación da por resultado la formación de la mórula, una esfera sólida de células. Luego se abre una cavidad dentro de la mórula, formando así la blástula, una esfera hueca de células. *Gastrulación:* Se forma una invaginación en la blástula, y las células migran de la superficie al interior de la esfera hasta formar una gástrula de tres capas. Estas tres capas celulares —ectodermo, mesodermo y endodermo— dan origen a todos los tejidos adultos (véase la tabla 41-2). *Organogénesis:* Las capas celulares de la gástrula forman los órganos característicos de la especie animal. El individuo joven aumenta de tamaño y alcanza la madurez sexual. *Envejecimiento:* Las células funcionan con menos eficiencia a medida que se van acumulando daños al DNA y a otros componentes celulares; la capacidad reparadora de las células se deteriora y, a la larga, el organismo muere.

41.3 ¿Cómo se controla el desarrollo?

Todas las células del cuerpo de un animal contienen un conjunto completo de información genética, pero las células se especializan en funciones particulares. Durante el desarrollo, las células sufren diferenciación al estimular y reprimir la transcripción de genes específicos. Las células de los vertebrados conservan la capacidad de formar un individuo completo si se les separa durante la etapa de blástula, como sucede en el caso de los gemelos idénticos.

Durante la gastrulación se decide el destino de la mayoría de las células del embrión, por medio de un proceso llamado *inducción*, el cual es estimulado por mensajeros químicos recibidos de las células cercanas. La diferenciación de las células en papeles especializados tiene lugar como resultado de la expresión diferencial de los genes causada por la inducción. Las moléculas reguladoras, comúnmente proteínas (o proteínas combinadas con sustancias como las hormonas esteroides), determinan cuáles genes deben expresarse; tales moléculas se enlazan a los genes específicos, ya sea bloqueando o promoviendo la transcripción. Las células migran dentro del embrión en desarrollo, por medio de un proceso que requiere de la comunicación química entre ellas. Las proteínas superficiales asociadas con tipos de células específicos reconocen las rutas químicas tendidas por otras células, lo que propicia la migración celular. Los segmentos de genes homeobox codifican las secuencias de aminoácidos específicos que permiten a las proteínas llamadas factores de transcripción unirse con genes particulares y transcribirlos (para producir RNA mensajero). Las proteínas de factor de transcripción especial codificadas por genes homeobox sirven como "reguladores maestros" del desarrollo, al actuar con todos los genes necesarios para producir una parte especial del cuerpo, como una extremidad, por ejemplo.

41.4 ¿Cómo se desarrollan los seres humanos?

Un óvulo fecundado (cigoto) se desarrolla en un blastocisto hueco y se implanta en el endometrio. La pared externa se convierte en el corion y formará la contribución embrionaria a la placenta; la masa celular interna se convertirá en el embrión y en las otras tres membranas extraembrionarias. Durante la gastrulación, las células migran y sufren diferenciación para formar el ectodermo, mesodermo y endodermo. Durante la tercera semana, el endodermo forma un tubo que será el tracto digestivo, el corazón comienza a latir y aparecen los rudimentos del sistema nervioso. Al finalizar el segundo mes, ya se han formado los órganos principales; y el embrión, que ahora se llama feto, se asemeja a un ser humano. En los siete meses siguientes antes del nacimiento, el feto continúa creciendo; los pulmones, el estómago, los intestinos, los riñones y el sistema nervioso crecen, se desarrollan y se vuelven más funcionales. El desarrollo embrionario humano (las etapas que se resumen en la figura 41-8) siguen los mismos principios que el desarrollo en otros mamíferos.

Durante el embarazo, las glándulas mamarias de la madre crecen bajo la influencia del estrógeno, la progesterona y otras hormonas. Después de aproximadamente nueve meses, las contracciones uterinas se inician por la interacción compleja del estiramiento del útero y la liberación de prostaglandinas y oxitocina. Como resultado, el útero expele al bebé y luego a la placenta. Después del parto, el infante comienza a mamar, lo que activa la liberación de prolactina y oxitocina, que propician la secreción de la leche materna.

El envejecimiento es la acumulación gradual del deterioro celular (particularmente del material genético) con el paso del tiempo; es un proceso que conduce a la pérdida de funcionalidad de un organismo y, a la larga, a la muerte.

Web tutorial 41.1 Descripción del desarrollo animal

TÉRMINOS CLAVE

alantoides *pág. 840*
amnios *pág. 840*
blastocisto *pág. 845*
blastoporo *pág. 841*
blástula *pág. 841*
calostro *pág. 852*
célula madre *pág. 843*
célula madre adulta *pág. 843*
célula madre embrionaria *pág. 843*
clonación terapéutica *pág. 843*
corion *pág. 840*
desarrollo *pág. 842*
desarrollo directo *pág. 838*
desarrollo indirecto *pág. 838*
diferenciación *pág. 842*
disco embrionario *pág. 847*
ectodermo *pág. 841*
endodermo *pág. 841*
envejecimiento *pág. 852*
feto *pág. 848*
gástrula *pág. 841*
gastrulación *pág. 841*
glándulas mamarias *pág. 851*
homeobox *pág. 845*
huevo amniótico *pág. 840*

implantación *pág. 845*
inducción *pág. 844*
lactancia *pág. 851*
larva *pág. 838*
masa celular interna *pág. 845*
membrana extraembrionaria *pág. 840*
mesodermo *pág. 841*
metamorfosis *pág. 838*
mórula *pág. 841*
notocordio *pág. 841*
organogénesis *pág. 841*
parto *pág. 850*
placenta *pág. 849*
saco vitelino *pág. 840*
segmentación *pág. 841*
síndrome de alcoholismo fetal (SAF) *pág. 837*
vellosidades coriónicas *pág. 847*
vitelo *pág. 838*

RAZONAMIENTO DE CONCEPTOS

Distingue entre el desarrollo indirecto y el directo; da ejemplos de cada uno.

Describe la estructura y función de las cuatro membranas extraembrionarias que se encuentran en los reptiles y las aves. ¿Están presentes estas cuatro membranas en la placenta de los mamíferos? ¿En qué formas son similares sus papeles en los reptiles y las aves en comparación con los mamíferos? ¿En qué difieren?

¿Qué es el vitelo? ¿Cómo influye en la segmentación?

¿Qué es la gastrulación? Describe la gastrulación en las ranas.

Nombra dos estructuras derivadas de cada una de las tres capas de tejido embrionarias: endodermo, ectodermo y mesodermo.

¿Cómo contribuye la muerte celular al desarrollo?

Describe el proceso de inducción y da dos ejemplos.

Define la diferenciación. ¿Cómo se diferencian las células, es decir, cómo las células adultas expresan algunos de los genes, pero no todos, del óvulo fecundado?

9. En los seres humanos, ¿dónde tiene lugar la fecundación y qué etapas del desarrollo tienen lugar antes de que el óvulo fecundado llegue al útero?

10. Describe cómo el blastocisto humano da origen al embrión y a sus membranas extraembrionarias.

11. Explica cómo la estructura de la placenta evita que se mezclen la sangre del feto y de la madre, pero permite el intercambio de sustancias entre la madre y el feto.

12. ¿La placenta es una barrera eficaz contra las sustancias que pueden dañar al feto? Describe dos tipos de agentes nocivos que pueden atravesar la placenta y explica sus efectos en el feto.

13. ¿Cómo es que los cambios en las mamas preparan a la madre para alimentar al recién nacido? ¿Cómo influyen las hormonas en estos cambios y cómo estimulan la producción de leche materna?

14. Describe los sucesos que conducen a la expulsión del bebé y la placenta del útero. Explica por qué éste es un ejemplo de retroalimentación positiva.

APLICACIÓN DE CONCEPTOS

Una investigadora obtiene dos embriones de rana en la etapa de gástrula. Ella retira cuidadosamente un cúmulo de células de un sitio que sabe que normalmente llegaría a formar un tejido de tubo neural y lo trasplanta a la segunda gástrula en un sitio que normalmente se convertiría en piel. ¿La segunda gástrula desarrollará dos tubos neurales? Explica tu respuesta.

Los embriólogos han estado usando la fusión de embriones para producir ratones *tetraparentales* (con cuatro progenitores) y han producido "cabrejas" a partir de embriones de cabras y ovejas. Los cuerpos que resultaron son combinaciones de células de ambos animales. ¿Por qué tuvo éxito la fusión con estos embriones muy jóvenes (de cuatro a ochos células) y fracasó cuando se emplearon embriones de más edad?

3. Si el núcleo de una célula adulta puede ser trasplantado a un óvulo al cual se le ha extraído el núcleo para producir un clon del adulto, ¿es posible producir teóricamente clones humanos? ¿Esos clones serían exactamente iguales a la persona que aportó el núcleo? Explica.

4. Con base en los conocimientos sobre clonación que adquiriste en el capítulo 11 y en el presente, formula el mayor número de argumentos posibles a favor y en contra de la clonación terapéutica. ¿Cuál es tu punto de vista?

PARA MAYOR INFORMACIÓN

Cibelli, J. B., Lanza, R. P. y West M. D. "The First Human Cloned Embryo". *Scientific American*, noviembre de 2001. La clonación terapéutica que emplea las propias células del receptor puede generar células madre que no experimentarán rechazo por parte del sistema inmunitario.

Hall, S. "The Good Egg". *Discover*, mayo de 2004. Este artículo explica cómo se desarrolla el cigoto humano, con fotografías espectaculares.

Olshansky, S. J., Hayflick, L. y Carnes, B. A. "No Truth to the Fountain of Youth". *Scientific American*, junio de 2002. Abundan los "remedios" contra el envejecimiento, pero ninguno ha probado ser verdaderamente eficaz.

Park, A. y Cray, D. "The Politics of Stem Cells". *Time*, 7 de agosto de 2006. Una introducción para el hombre común sobre la investigación de las células madre; incluye bellas ilustraciones.

Rose, M. R. "Can Human Aging Be Postponed?" *Scientific American*, diciembre de 1999. En teoría, es posible retardar el envejecimiento, pero esto no se logrará pronto.

Rosenberg, K. W. y Trevathan, W. R. "The Evolution of Human Birth". *Scientific American*, noviembre de 2001. Explica por qué los humanos enfrentan un momento difícil durante el parto.

UNIDAD 6

Anatomía y fisiología de las plantas

Una pradera cubierta con lupinos de Texas en la primavera. Flores como éstas son en realidad hojas modificadas y adaptadas para atraer a los polinizadores.

CAPÍTULO 42

Anatomía de las plantas y transporte de nutrimentos

Cada color otoñal tiene un propósito, pero los científicos aún investigan la función de los pigmentos rojos de la antocianina, que se sintetizan justo antes de que las hojas se caigan.

DE UN VISTAZO

ESTUDIO DE CASO: ¿Por qué las hojas se tiñen de rojo en el otoño?

42.1 ¿Cómo está organizado el cuerpo de las plantas y cómo crecen?

Las fanerógamas consisten en un sistema de raíces y un sistema de vástago

Durante el crecimiento de una planta, células meristemáticas producen células diferenciadas

42.2 ¿Qué tejidos y tipos de células tienen las plantas?

El sistema de tejido dérmico cubre el cuerpo de la planta

El sistema de tejido fundamental constituye casi todo el cuerpo de las plantas jóvenes

El sistema de tejido vascular transporta agua y nutrimentos

42.3 ¿Cuáles son las estructuras y funciones de las hojas, las raíces y los tallos?

Las hojas son los colectores solares de la naturaleza

Los tallos elevan y dan sostén al cuerpo de la planta

Las raíces anclan a la planta, absorben nutrimentos y almacenan alimento

42.4 ¿Cómo obtienen nutrimentos las plantas?

Las raíces obtienen minerales del suelo

Las relaciones simbióticas ayudan a las plantas a obtener nutrimentos

De cerca: ¿Cómo absorben agua y minerales las raíces?

42.5 ¿Cómo transportan las plantas el agua de las raíces a las hojas?

El movimiento del agua en el xilema se explica con la teoría de cohesión-tensión

Estomas ajustables controlan la intensidad de la transpiración

Guardián de la Tierra: Las plantas ayudan a regular la distribución del agua

42.6 ¿Cómo transportan azúcares las plantas?

La teoría de flujo-presión explica el movimiento de azúcares en el floema

Conexiones evolutivas: Adaptaciones especiales de raíces, tallos y hojas

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO ¿Por qué las hojas se tiñen de rojo en el otoño?

ESTUDIO DE CASO

¿POR QUÉ LAS HOJAS SE TIÑEN DE ROJO EN EL OTOÑO?

CADA OTOÑO, LA GENTE VIAJA EN TROPEL a los bosques caducifolios del noreste de Estados Unidos, particularmente a Nueva Inglaterra, para disfrutar de los brillantes colores rojos, amarillos y anaranjados de las hojas, así como del vivificante y soleado clima de ese lugar. Pero ¡estos colores no aparecieron para atraer a los turistas! Los pigmentos amarillos y anaranjados (carotenoides) están ahí todo el año, ayudando a las hojas a atrapar la luz solar mediante fotosíntesis. Conforme las hojas mueren y el pigmento verde predominante de la clorofila se descompone, estos pigmentos se manifiestan. De todos los colores del otoño, los rojos son los más misteriosos; son causados por los pigmentos de la antocianina, los cuales no participan en la fotosíntesis y se sintetizan justo antes de que las hojas se caigan en el otoño.

Gracias a la investigación que comenzó hace un siglo, los científicos cuentan con evidencias que explican por qué las hojas sintetizan un nuevo pigmento rojo justo cuando están por morir. Durante la última década, los fisiólogos botánicos David Lee y Kevin Gould buscaron respuestas a esta pregunta en el bosque de Harvard, un santuario natural ubicado en Massachusetts, cuyos colores otoñales son incomparables. Su investigación se basa en las observaciones e hipótesis de los botánicos alemanes de finales del siglo XIX, quienes notaron que una combinación de bajas temperaturas y luz intensa parece estimular la producción de antocianina. Tal vez, como sugirieron los primeros investigadores, los pigmentos rojos ayudan a entibiar las hojas y a protegerlas de los efectos dañinos de un Sol intenso. Pero, ¿por qué proteger una hoja que está próxima a morir?

Es común que no apreciemos las plantas. Quizás admiremos un campo de flores silvestres o una secuoya gigante, pero rara vez nos detenemos a pensar acerca de las intrincadas adaptaciones que permiten sobrevivir y prosperar incluso a las plantas más comunes. Las plantas no se pueden mover para buscar agua o alimento, escapar de los depredadores, guarecerse del invierno o encontrar pareja. Sin embargo, las piceas crecen sobre el suelo continuamente congelado del extremo norte, los manglares permanecen inmersos en los pantanos de Florida, los cactus prosperan bajo el Sol abrasador del desierto de Mojave, y los pinos erizo (*Pinus longaeva*) de las montañas de California viven hasta 4000 años. Una de las mejores formas de apreciar las plantas es considerar la eficiencia con la que resisten los mismos desafíos ambientales que enfrentan todos los seres vivos, incluidos los humanos. Para sobrevivir, los organismos deben:

- Obtener energía
- Obtener agua y otros nutrimentos
- Distribuir el agua y los nutrimentos por todo su cuerpo
- Intercambiar gases
- Sostener su cuerpo
- Crecer y desarrollarse
- Reproducirse

Conforme avancemos por este capítulo estudiando el cuerpo de las plantas y cómo funciona, piensa acerca de cómo su propio cuerpo desempeña las mismas funciones básicas. Seguramente te sentirás maravillado al recapacitar sobre cómo la selección natural, al actuar en diferentes tipos de mutaciones, produjo estas formas de vida increíblemente diversas.

42.1 ¿CÓMO ESTÁ ORGANIZADO EL CUERPO DE LAS PLANTAS Y CÓMO CRECEN?

Para comprender cómo evolucionaron las plantas para enfrentar con éxito los desafíos de la vida, primero debemos explorar la estructura básica de su cuerpo. La enorme diversidad de vida vegetal se presentó en el capítulo 21. En el presente capítulo nos enfocaremos en el tipo de plantas que dominan el paisaje de la Tierra: las plantas con flor o **angiospermas**. El cuerpo de las angiospermas consiste en hojas, tallos y raíces; y las angiospermas producen flores que generan semillas. La FIGURA 42-1 ilustra importantes estructuras de las angiospermas y sus funciones.

Existen dos grandes grupos de angiospermas: *monocotiledóneas* y *dicotiledóneas*. Las diferencias características en las estructuras de unas y otras se muestran en la FIGURA 42-2. Estos dos grupos generales se llaman así por los *cotiledones* u *hojas de semilla* del embrión de las angiospermas. Las **monocotiledóneas** tienen una sola hoja de semilla ("mono" significa uno). Este grupo incluye lirios, palmas, orquídeas y una gran familia conocida colectivamente como pastos. Aunque pensamos que los pastos sólo crecen en las praderas, la familia de los pastos también incluye al trigo, el arroz, el maíz, la cebada y la avena. Las semillas de estas plantas proveen alimentos básicos para la mayoría de la gente en el planeta, mientras que los pastos también sirven de alimento a la mayoría de los animales domésticos. Las **dicotiledóneas** tienen dos hojas de semilla ("di" significa dos); este grupo incluye a los árboles *caducifolios* (aquellos que tiran sus hojas en invierno), arbustos, así como muchas flores silvestres y plantas de jardín.

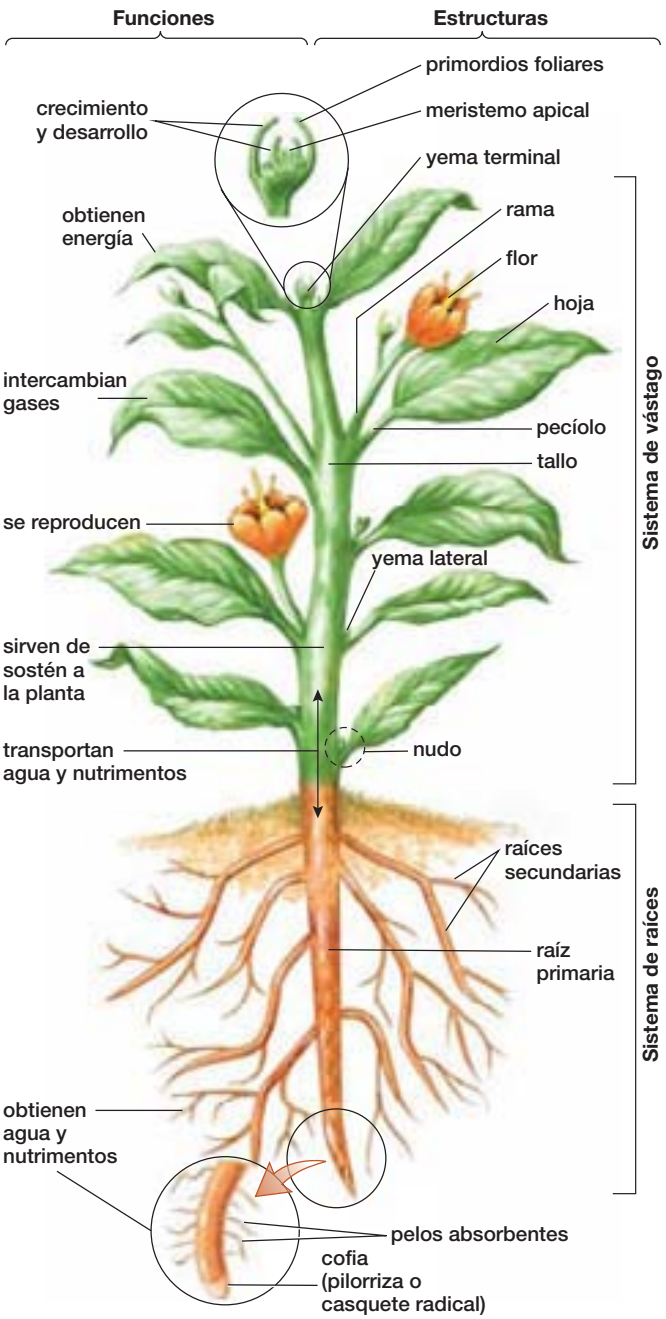


FIGURA 42-1 Estructura y funciones de las plantas dicotiledóneas con flor

Las fanerógamas consisten en un sistema de raíces y un sistema de vástago

El cuerpo de las angiospermas consta de dos regiones principales: el *sistema de raíces* y el *sistema de vástago* (FIGURA 42-3). El **sistema de raíces** consta de todas las raíces de la planta. Las **raíces** son porciones ramificadas del cuerpo de la planta que, por lo regular, están enterradas en el suelo. Las raíces tienen seis funciones principales:

- Anclan a la planta en el suelo.

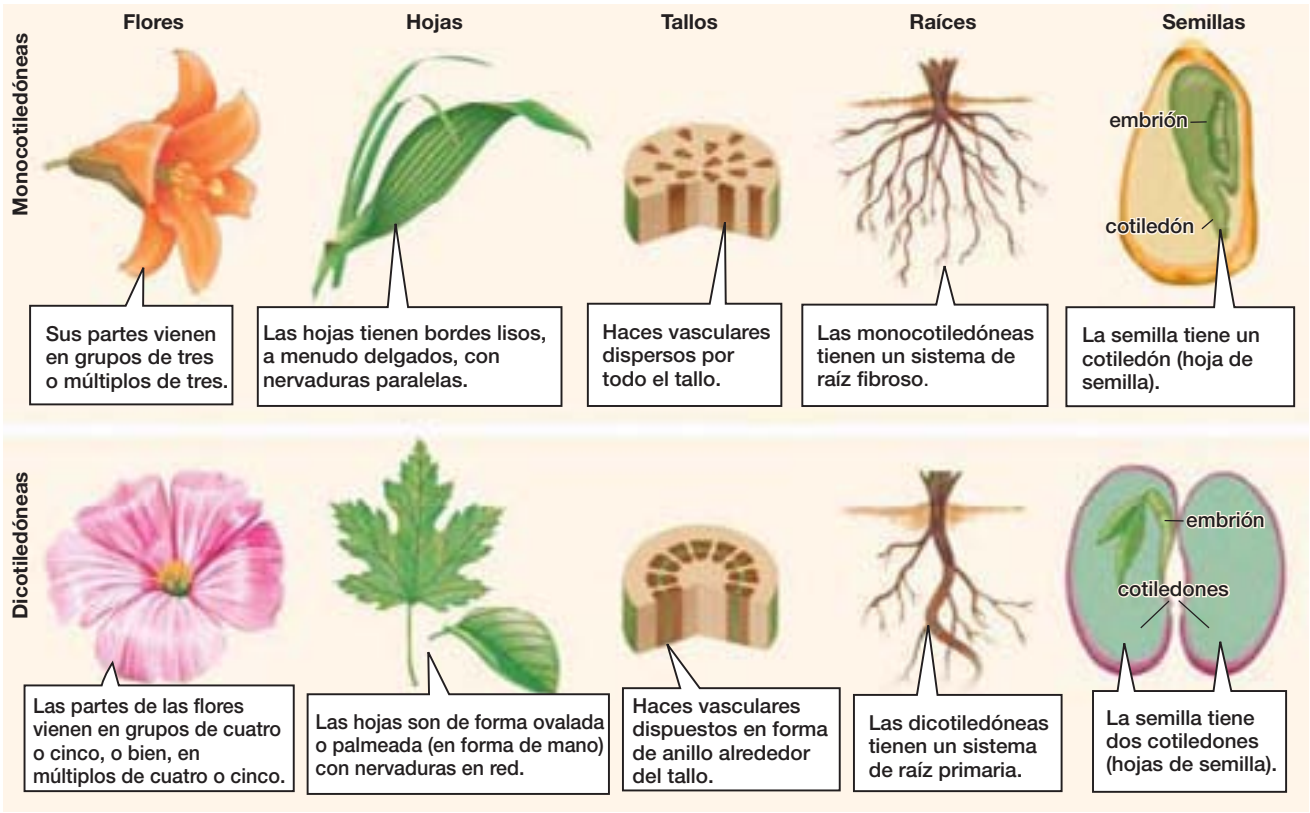

Flores
Hojas
Tallos
Raíces
Semillas
Monocotiledóneas
embrión
cotiledón
Sus partes vienen en grupos de tres o múltiplos de tres.
Las hojas tienen bordes lisos, a menudo delgados, con nervaduras paralelas.
Haces vasculares dispersos por todo el tallo.
Las monocotiledóneas tienen un sistema de raíz fibroso.
La semilla tiene un cotiledón (hoja de semilla).
Dicotiledóneas
embrión
cotiledones
Las partes de las flores vienen en grupos de cuatro o cinco, o bien, en múltiplos de cuatro o cinco.
Las hojas son de forma ovalada o palmeada (en forma de mano) con nervaduras en red.
Haces vasculares dispuestos en forma de anillo alrededor del tallo.
Las dicotiledóneas tienen un sistema de raíz primaria.
La semilla tiene dos cotiledones (hojas de semilla).

FIGURA 42-2 Comparación entre monocotiledóneas y dicotiledóneas

- Absorben del suelo agua y minerales (que son los nutrimentos de la planta).
- Almacenan azúcares excedentes fabricados durante la fotosíntesis.
- Transportan agua, minerales, azúcares y hormonas al vástago y desde éste.
- Producen algunas hormonas.
- Interactúan con hongos y microorganismos del suelo que brindan nutrimentos a la planta.

El **sistema de vástago** casi siempre está situado arriba del suelo. En las angiospermas este sistema consta de *tallos, yemas, hojas, flores y frutos.* Las yemas originan hojas y flores. Las hojas captan la energía solar en moléculas de alta energía. Las flores son los órganos reproductores de la planta, producen células sexuales femeninas y masculinas y les ayudan a encontrarse entre sí. Luego, las flores producen frutos que encierran y protegen las semillas y a menudo ayudan en la dispersión de éstas. Los tallos, que por lo general se ramifican, brindan sostén y elevan las hojas, flores y frutos por encima de la tierra. Esto ayuda a las hojas a captar la luz solar y a las flores a atraer a los polinizadores o a liberar su polen al viento. Elevar los frutos ayuda a dispersar las semillas. Algunas partes del sistema de vástago están especializadas en transportar agua, minerales y moléculas alimenticias; otras partes producen hormonas.

Durante el crecimiento de una planta, células meristemáticas producen células diferenciadas

Los animales y las plantas se desarrollan de forma radicalmente distinta. Una diferencia se relaciona con los tiempos y

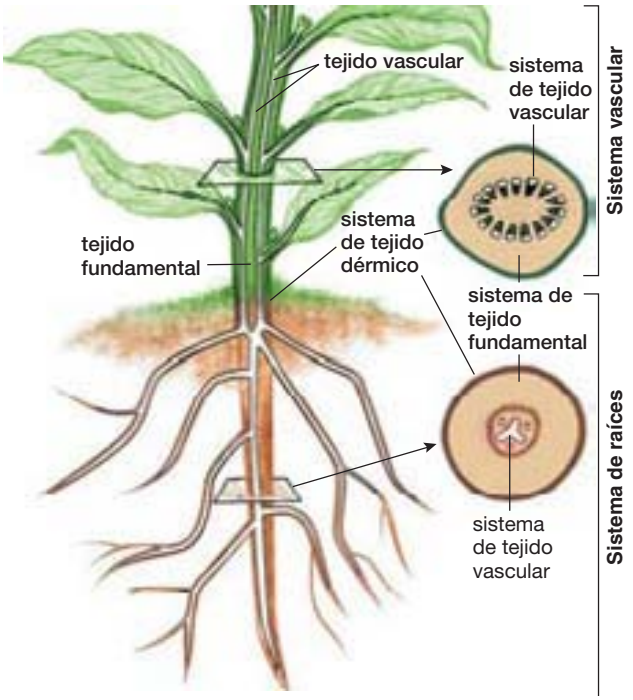


FIGURA 42-3 Estructura de la raíz y el vástago
Tanto la raíz como el vástago de una planta con flor constan de tres sistemas tisulares: sistemas de tejido dérmico, fundamental y vascular. EJERCICIO: En este dibujo encierra en un círculo todos los lugares donde ocurre el crecimiento primario y dibuja flechas que apunten hacia algunos de los lugares donde se realiza el crecimiento secundario.

la distribución del crecimiento. Conforme los animales crecen, todas las partes de su cuerpo se vuelven más grandes hasta alcanzar el tamaño de un adulto. En contraste, las fanerógamas crecen durante toda su vida y nunca alcanzan una forma corporal "adulta" estable. Además, casi todas las plantas sólo crecen longitudinalmente en las puntas de sus ramas y raíces, y las estructuras que se desarrollaron antes permanecen exactamente en el mismo lugar. Por ejemplo, un columpio atado a la rama de árbol o las iniciales inscritas en su corteza no se alejan del suelo cada año. ¿Por qué crecen así las plantas?

Desde el momento en que germinan, las plantas se componen de dos categorías fundamentalmente distintas de células: *meristemáticas* y *diferenciadas*. Las **células meristemáticas** se dividen por mitosis. Al igual que las células madre de los animales, aún no han adoptado la forma adulta ni una forma o función diferenciada. Algunas de las células hijas de las células meristemáticas pierden la capacidad para dividirse y se convierten en **células diferenciadas**. Estas células adoptan estructuras y funciones especializadas y se convierten en la parte de la planta que no crece. Así, la división continuada de las células meristemáticas puede hacer que la planta siga creciendo durante toda su vida, mientras que sus células hijas diferenciadas forman partes más estables o permanentes de la planta, como las hojas maduras o el tronco de un árbol.

Las plantas crecen como resultado de la división y la diferenciación celular dentro del *tejido meristemático*, que está constituido de células meristemáticas. Los **meristemos apicales** ("de la punta") están situados en los extremos de las raíces y los vástagos (véase las figuras 42-1 y 42-15). Los **meristemos laterales**, también llamados **cambium**, forman cilindros que corren paralelos al eje longitudinal de las raíces y los tallos (véase la figura 42-11).

El crecimiento de las plantas adopta dos formas: *crecimiento primario* y *crecimiento secundario*. El **crecimiento primario** ocurre en los extremos de las raíces y los vástagos conforme se dividen las células de los meristemos apicales y se diferencian las células hijas resultantes. El crecimiento primario es responsable del aumento en la longitud y del desarrollo de las estructuras especializadas de la planta. El alargamiento de las raíces y los tallos por crecimiento primario les permite ingresar en espacios nuevos desde los cuales recolectan luz, nutrimentos y agua. También explica por qué un columpio nunca se aleja del suelo.

El **crecimiento secundario**, que causa el aumento en diámetro, tiene lugar por la división de células del meristemo lateral y la diferenciación de sus células hijas. En la mayoría de las dicotiledóneas así como en casi todas las *coníferas* (árboles de hoja perenne que producen conos, véase el capítulo 21), el crecimiento secundario hace que los tallos y las raíces se vuelvan más gruesos al envejecer. Aunque este capítulo se ocupa del crecimiento secundario sólo en los tallos, hay que tener presente que este tipo de crecimiento también se da en las raíces.

Algunas angiospermas, descritas como *plantas herbáceas*, sólo presentan crecimiento primario. Como es fácil predecir, las plantas herbáceas tienen un cuerpo suave con tallos flexibles y, por lo general, son *anuales* (esto es, sólo viven un año). Las herbáceas incluyen las plantas de la lechuga, los frijoles, los lirios y los pastos. Las *plantas leñosas* presentan crecimiento tanto primario como secundario y, en general, son *perennes* (es decir, viven muchos años). Las plantas leñosas, como los árboles y arbustos, desarrollan sus tallos y raíces duros y gruesos como resultado del crecimiento secundario.

42.2 ¿QUÉ TEJIDOS Y TIPOS DE CÉLULAS TIENEN LAS PLANTAS?

A medida que se diferencian las células meristémicas, producen una amplia variedad de tipos de células. Cuando uno o más tipos de células especializadas trabajan juntas para desempeñar una función específica, como transportar agua y minerales, forman un *tejido*. Grupos funcionales de más de un tejido reciben el nombre de *sistemas tisulares*. El cuerpo de las plantas se compone de tres sistemas tisulares, que se ilustran en la **FIGURA 42-3**. El **sistema de tejido dérmico** cubre las superficies externas del cuerpo de la planta. El **sistema de tejido fundamental** constituye la mayor parte del cuerpo de las plantas jóvenes. Sus funciones incluyen fotosíntesis, soporte y almacenamiento. El **sistema de tejido vascular** transporta líquidos por toda la planta.

El sistema de tejido dérmico cubre el cuerpo de la planta

El sistema de tejido dérmico es la "piel" de la planta. Hay dos tipos de tejido dérmico: *tejido epidérmico* y *peridérmico.*

El **tejido epidérmico** forma la **epidermis**, la capa celular más exterior que cubre hojas, tallos y raíces de todas las plantas jóvenes. El tejido epidérmico también cubre flores, semillas y frutos. En las plantas herbáceas, la epidermis se conserva como cubierta exterior de todo el cuerpo de la planta durante toda su vida. El tejido epidérmico de las partes de la planta que están sobre el suelo generalmente se compone de células de pared delgada, muy apretadas, cubiertas de una **cutícula** cerosa impermeable, secretada por las células epidérmicas. La cutícula reduce la evaporación de agua de la planta y ayuda a protegerla contra la invasión de microorganismos patógenos. En contraste, las células epidérmicas de las raíces no están cubiertas por cutícula, pues ésta, al ser impermeable, impediría la absorción de agua y minerales.

Algunas células epidérmicas producen extensiones finas llamadas *pelos.* Muchas células epidérmicas de la raíz tienen **pelos radiculares** (ver pág. 872), proyecciones largas que aumentan considerablemente el área superficial de absorción de la membrana celular. Los pelos epidérmicos de los tallos y las hojas reducen la pérdida de agua por evaporación al reflejar la luz solar y crear una zona de aire inmóvil cerca de la superficie de la planta (**FIGURA 42-4**). En contraste, algunas plantas tropicales utilizan sus hojas velludas para captar y retener agua.

La **peridermis** remplaza al tejido epidérmico en las raíces y los tallos de las plantas leñosas conforme envejecen. Este tejido dérmico se compone primordialmente de **células suberosas (de corcho)**, las cuales tienen paredes gruesas e impermeables y mueren al alcanzar la madurez. La peridermis también incluye el **cambium de corcho** que da origen a las células suberosas (véase la figura 42-12). Las células suberosas forman las capas protectoras externas de la corteza de los árboles y arbustos leñosos (véase figura 42-13) y la cubierta resistente de las partes más añejas de sus raíces. Los segmentos de raíz que están cubiertos con la peridermis anclan la planta, pero no pueden absorber agua ni minerales.

FIGURA 42-4 Los tejidos dérmicos cubren la superficie de las plantas
La epidermis de un vástago, como en esta hoja de zinnia, las superficies exteriores de las células están cubiertas con una cutícula transparente que reduce la evaporación del agua. El "pelo foliar" también reduce la evaporación al frenar el movimiento del aire sobre la superficie de la hoja. Los estomas permiten que los gases entren y salgan de la hoja.

El sistema de tejido fundamental constituye casi todo el cuerpo de las plantas jóvenes

El sistema de tejido fundamental, que constituye el grueso de una planta joven, consiste en todos los tejidos que no son dérmicos ni vasculares (es decir, no incluye tejidos que transportan agua y nutrimentos). Hay tres tipos de tejidos fundamentales: *parénquima*, *colénquima* y *esclerénquima*.

El **parénquima** es el más abundante de los tejidos fundamentales. Sus células tienen paredes delgadas, están vivas en la madurez y por lo regular realizan la mayor parte de las actividades metabólicas de la planta (FIGURA 42-5a). Las células parenquimatosas tienen funciones tan diversas como fotosíntesis, secreción de hormonas, sostén y almacenamiento de alimento. Las papas, las semillas, los frutos y las raíces que guardan nutrimentos, como las zanahorias, están llenos de células parenquimatosas que almacenan varios tipos de azúcares y almidones.

El **colénquima** consiste en células alargadas poligonales (de varias caras) con paredes de espesor irregular (FIGURA 42-5b). Las células colenquimatosas están vivas en la madurez, pero generalmente no pueden dividirse. Aunque fuertes, las paredes celulares del colénquima conservan cierta flexibilidad. En las plantas herbáceas y en los pedúnculos de las hojas y los tallos jóvenes en crecimiento de todas las plantas, el tejido colenquimatoso es un sostén importante. Los "hilos" de

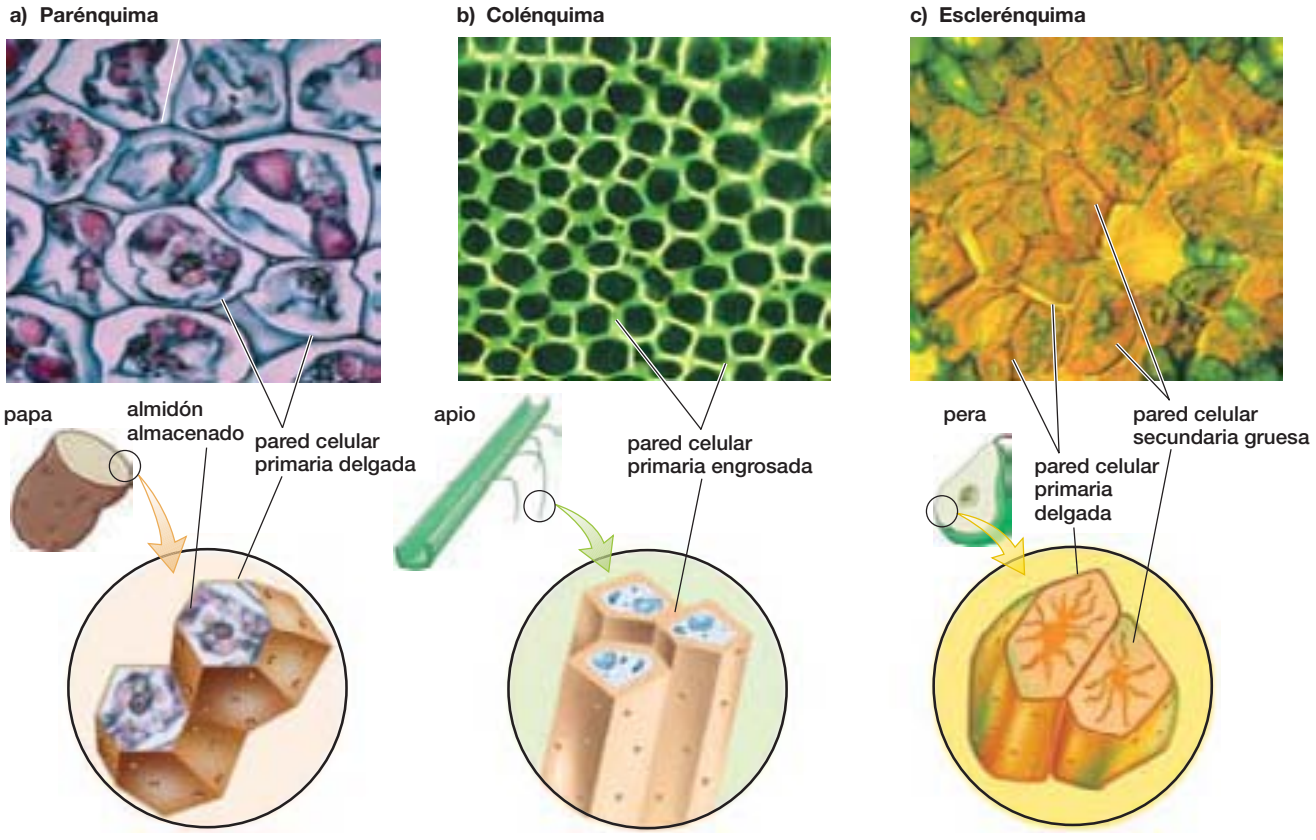


FIGURA 42-5 Estructura del tejido fundamental
a) Las células parenquimatosas están vivas y sirven para muchas funciones. Tienen paredes celulares primarias delgadas y flexibles; se utilizan para almacenar almidón en las papas. ***b)*** Las células colenquimatosas están vivas y tienen paredes celulares primarias irregularmente engrosadas, aunque todavía un tanto flexibles. Confieren sostén al cuerpo de la planta (como se observa en este tallo de apio). ***c)*** Las células esclerenquimatosas tienen paredes celulares secundarias rígidas y mueren después de diferenciarse. Este caso se ilustra con las "células pétreas" que confieren a la pulpa de las peras su textura un tanto granulosa.

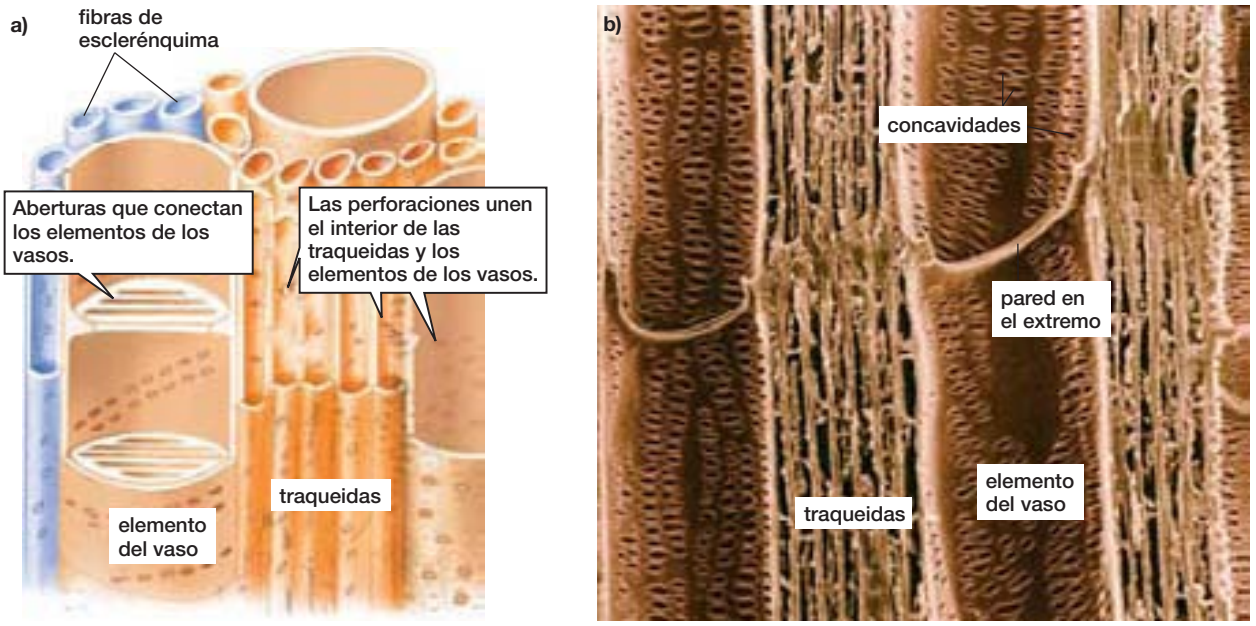


FIGURA 42-6 Estructura del xilema
a) El xilema incluye fibras de esclerénquima (para brindar sostén) y dos tipos de células conductoras: traqueidas y elementos de los vasos. Las traqueidas son delgadas con extremos y lados conectados mediante concavidades. Las concavidades en las paredes laterales interconectan las traqueidas y los elementos de los vasos. ***b)*** Una micrografía del xilema. Numerosas concavidades son visibles en los elementos de los vasos grandes; las traqueidas más abundantes son los tubos más pequeños.

los tallos de apio, por ejemplo, son en su mayor parte células colenquimatosas asociadas a tejido vascular.

El tejido de **esclerénquima** consiste en células con paredes celulares secundarias (entre la pared primaria exterior y la membrana plasmática) gruesas y endurecidas, reforzadas por una sustancia que confiere rigidez, la *lignina* (FIGURA 42-5c). Al igual que el colénquima, las células esclerenquimatosas dan sostén y fortaleza al cuerpo de la planta; sin embargo, a diferencia de las células del colénquima, mueren después de diferenciarse. Las paredes celulares endurecidas y gruesas siguen sirviendo como sostén. Las células esclerenquimatosas constituyen las fibras del cáñamo y el yute, que se utilizan para hacer cuerdas. Otros tipos de células esclerenquimatosas forman la cáscara de las nueces y la cubierta exterior del hueso de los duraznos, además de conferir a las peras su textura granulosa. Las células esclerenquimatosas también brindan sostén a los tejidos vasculares, que se describen a continuación.

El sistema de tejido vascular transporta agua y nutrimentos

El sistema de tejido vascular de las plantas sirve para una función un tanto similar a la que realizan los vasos sanguíneos en los animales: conduce agua y sustancias disueltas por todo el organismo. Como se describirá más adelante en este capítulo, partes del sistema vascular también contribuyen al "esqueleto" que brinda sostén a la mayoría de las plantas. El sistema de tejido vascular consta de dos tejidos conductores complejos: *xilema* y *floema.*

El xilema lleva agua y minerales disueltos de las raíces al resto de la planta

El **xilema** *traqueidas* y *elementos de los vasos* (FIGURA 42-6), los cuales conducen agua y minerales disueltos de las raíces a los vástagos. El paso final en la formación tanto de traqueidas como de elementos de los vasos es la muerte celular, que deja atrás tubos huecos de la pared celular inerte.

Las **traqueidas** son células delgadas tubulares con paredes celulares gruesas, apiladas una sobre otra (figura 42-6b); sus extremos inclinados, que se traslapan, semejan la punta de una aguja hipodérmica. Las paredes de los extremos contienen **concavidades**, secciones porosas que consisten sólo de una pared celular primaria delgada y permeable al agua, que permite el paso de agua y minerales de una traqueida a la siguiente, o de una traqueida a un elemento del vaso adyacente.

Los **elementos de los vasos**, cuyo diámetro es mayor que el de las traqueidas, forman tuberías relativamente despejadas, llamadas **vasos**, que van desde la raíz hasta las hojas (figura 42-6a). Los elementos de los vasos están apilados extremo con extremo, y sus paredes adyacentes están conectadas por medio de perforaciones; en ocasiones, las paredes se desintegran totalmente para dejar un tubo abierto.

El floema conduce agua, azúcares, aminoácidos y hormonas por toda la planta

El **floema** lleva agua con sustancias disueltas sintetizadas por la planta, como azúcares, aminoácidos y hormonas. Además de fibras esclerenquimatosas, el floema contiene *elementos de tubo criboso* y *células acompañantes*. Los **elementos de tubo criboso** son células conductoras del floema (FIGURA 42-7

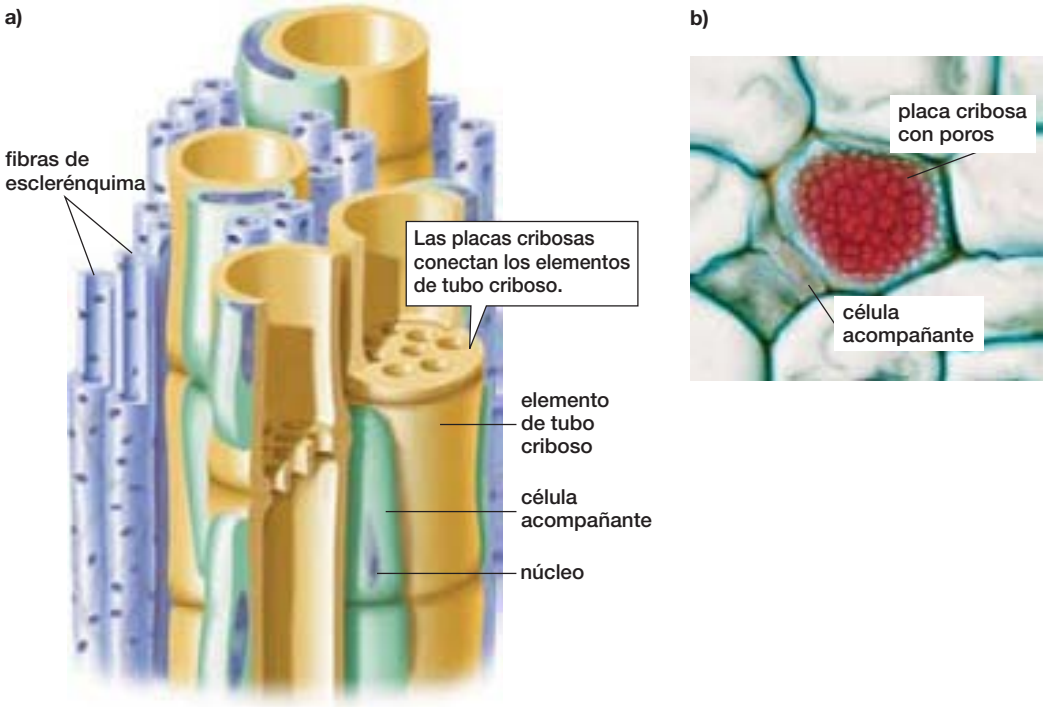


FIGURA 42-7 Estructura del floema
a) El floema incluye fibras de esclerénquima, elementos de tubo criboso y células acompañantes. Los elementos de tubo criboso, apilados extremo con extremo, forman el sistema conductor del floema. Donde se unen, poros revestidos de membrana permiten el libre paso de líquidos entre ellos. Cada elemento de tubo criboso tiene una célula acompañante que lo nutre y regula su función. ***b)*** Una micrografía del extremo de un elemento de tubo criboso que muestra la placa cribosa.

centes, para crear estructuras denominadas *placas cribosas*, las cuales permiten que los líquidos se muevan libremente de una célula a otra. Así, se crea un sistema conductor continuo de *tubos cribosos* gracias a una serie de elementos de tubo criboso unidos extremo con extremo.

Los elementos de tubo criboso poseen una membrana plasmática, unas cuantas mitocondrias y algo de retículo endoplásmico, pero generalmente carecen de ribosomas, aparatos de Golgi y núcleo. ¿Cómo, entonces, puede mantenerse vivo el elemento? Cada uno es nutrido por una **célula acompañante** adyacente, más pequeña. Las células acompañantes están conectadas a los elementos de tubo criboso por canales llenos de citoplasma llamados *plasmodesmos*, (que describimos en el capítulo 5). Las células acompañantes ayudan a mantener la integridad de los elementos de tubo criboso donando compuestos de alta energía y dirigiendo la síntesis de proteínas importantes.

42.3 ¿CUÁLES SON LAS ESTRUCTURAS Y FUNCIONES DE LAS HOJAS, LAS RAÍCES Y LOS TALLOS?

Las hojas son los colectores solares de la naturaleza

Las **hojas**

Las formas y estructuras de las hojas evolucionaron en respuesta a los desafíos ambientales que las plantas enfrentaron con el fin de obtener los elementos esenciales para realizar la fotosíntesis: energía solar, dióxido de carbono (CO_2) y agua. El agua se obtiene del suelo y se transporta a la hoja por el xilema, mientras que el dióxido de carbono CO_2 debe difundirse del aire al interior de la hoja. En general, una hoja tiene una área superficial grande para captar luz y poros para permitir la entrada de CO_2. Para evitar la evaporación excesiva, la hoja también debe ser razonablemente impermeable. Las hojas de las plantas con flores presentan todas esas características, como se ilustra en la FIGURA 42-8.

Las hojas tienen dos partes principales: el limbo (o lámina) y el pecíolo

Una hoja de angiosperma representativa consiste en una porción ancha y plana, el **limbo**, conectada al tallo por un pedúnculo llamado **pecíolo** (véase la figura 42-1). El pecíolo determina la posición del limbo, casi siempre orientando la hoja de forma que su exposición a la luz solar sea máxima. Dentro del limbo, los tejidos vasculares se ramifican para formar **haces vasculares**, también llamados **nervaduras** o **venas**.

Como se observa en la figura 42-8, la estructura de la epidermis de la hoja refleja las necesidades de la planta para conservar agua, mientras permite la entrada de CO_2

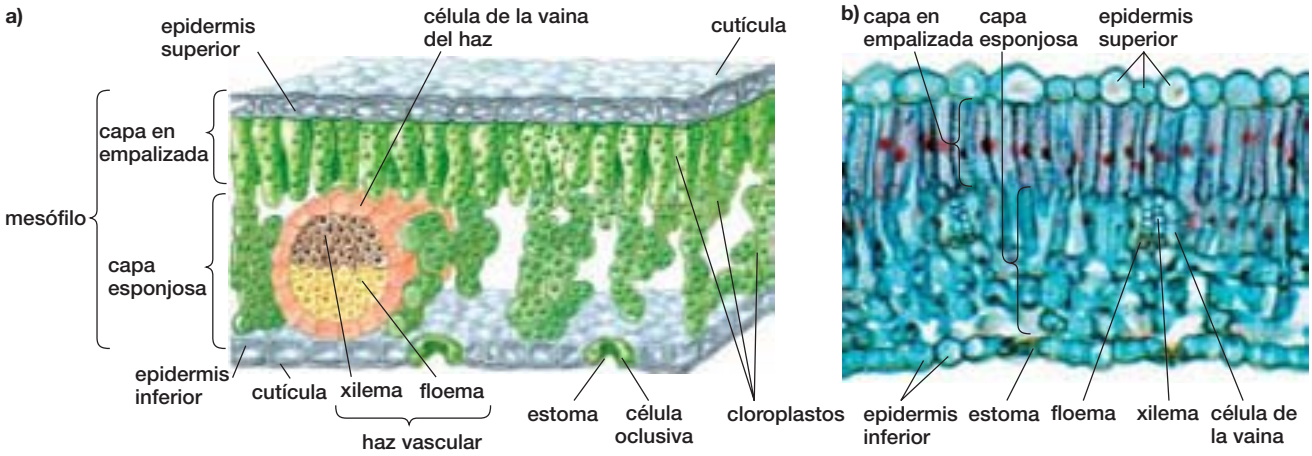


FIGURA 42-8 Estructura de una hoja representativa de dicotiledónea
a) Las células de la epidermis no tienen cloroplastos y son transparentes, de manera que permiten que la luz solar penetre hasta las células mesofílicas localizadas abajo que sí contienen cloroplastos. Los estomas que perforan la epidermis y la disposición holgada y abierta de las células mesofílicas garantizan la difusión del CO_2 del aire al interior de la hoja para llegar a todas las células fotosintéticas. ***b)*** Una micrografía de una sección de una hoja de lila.

difusión de los gases (CO_2, O_2 y vapor de agua) hacia el interior y el exterior de la hoja. Cada estoma está rodeado por dos **células guarda** o **células oclusivas**, con forma de salchicha, las cuales regulan el tamaño de la abertura hacia el interior de la hoja (véase las figuras 42-8 y 42-22). A diferencia de las células epidérmicas circundantes, las células oclusivas contienen cloroplastos y pueden realizar la fotosíntesis. Como veremos, la fotosíntesis en las células oclusivas contribuye a su capacidad para ajustar el diámetro del poro.

Bajo la epidermis se encuentra el **mesófilo** ("parte media de la hoja"), que consiste en células parenquimatosas dispuestas de manera holgada, donde la mayor parte de la actividad fotosintética de la hoja ocurre en los cloroplastos. Los espacios entre esas células (véase la figura 42-8) permiten que el CO_2 entre a los estomas y se difunda fácilmente entre ellos, al tiempo que el oxígeno (un producto fotosintético) salga por difusión. Muchas hojas poseen dos tipos de células mesofílicas: una capa de *células en empalizada*, o en columna, situada inmediatamente abajo de la epidermis superior y una capa de *células esponjosas*, de forma irregular, arriba de la epidermis inferior. Los haces vasculares, cada uno de los cuales contiene tanto xilema como floema, están incrustados en el mesófilo y envían nervaduras finas que llegan muy cerca de cada célula fotosintética. Así, cada célula del mesófilo recibe energía de la luz solar transmitida a través de la epidermis transparente, dióxido de carbono del aire y agua del xilema. Los azúcares que produce son llevados al resto de la planta por el floema.

Los tallos elevan y dan sostén al cuerpo de la planta

Los **tallos** de las plantas y sus ramas soportan y separan las hojas, elevándolas hacia la luz solar y exponiéndolas al aire. Pero al ayudar a las hojas a obtener energía solar y CO_2 para la fotosíntesis, los tallos también separan a las hojas del agua y los minerales esenciales que las plantas terrestres obtienen del suelo. Además, los tallos separan a las raíces de las moléculas esenciales de alta energía que las hojas fotosintetizadoras producen. Así que los tallos no sólo deben conducir agua y minerales disueltos hacia arriba, a las hojas, sino que también mueven moléculas de alta energía hacia abajo para dar sustento a las raíces.

El tallo comprende cuatro tipos de tejidos

En la punta del nuevo vástago en desarrollo se encuentra una **yema terminal**, la cual consiste en células meristemáticas rodeadas por hojas en desarrollo producidas por el meristemo (véase la figura 42-1). Algunas células meristemáticas hijas de la yema terminal se diferencian para convertirse en los tipos celulares diferenciados del tallo. La mayoría de los tallos jóvenes se componen de cuatro tejidos: epidermis (tejido dérmico), corteza (parénquima), médula (parénquima) y tejidos vasculares, que se describirán en los siguientes apartados. Como se ilustra en la figura 42-2, las monocotiledóneas y dicotiledóneas difieren un tanto en la disposición de sus tejidos vasculares; aquí analizaremos sólo los tallos de las dicotiledóneas.

La epidermis del tallo reduce la pérdida de agua y permite el ingreso de dióxido de carbono

Las células epidérmicas del tallo, al igual que las de las hojas, secretan un recubrimiento ceroso, la cutícula, que reduce la pérdida de agua. También al igual que en las hojas, la epidermis del tallo comúnmente está perforada con estomas que regulan la entrada de CO_2 y permiten la liberación de oxígeno.

La corteza y la médula sostienen al tallo, almacenan alimento y podrían realizar fotosíntesis

La **corteza** está localizada entre la epidermis y los tejidos vasculares, mientras que la **médula** se encuentra en el centro del anillo de los tejidos vasculares, llenando la porción interna del tallo joven. En algunos tallos jóvenes es difícil decir dónde termina la corteza y dónde comienza la médula. La corteza y la médula, que son células parenquimatosas, desempeñan tres funciones principales: brindan sostén, almacenan alimento y (en algunas plantas) realizan fotosíntesis.

- *Sostén.* En tallos muy jóvenes, el agua que llena las vacuolas centrales de las células corticales y medulares genera presión de turgencia (véase el capítulo 5). Esta presión confiere rigidez a las hojas, como hace el aire en un neumá-

tico. Si olvidamos regar nuestras plantas domésticas, sus puntas marchitas ponen de manifiesto la importancia de la presión de turgencia para mantener erguidos los tallos jóvenes. Los tallos un poco más viejos también tienen células de colénquima o esclerénquima con paredes celulares engrosadas, que no dependen de la presión de turgencia para su fortaleza.

- *Almacenamiento.* Las células parenquimatosas tanto de la corteza como de la médula convierten azúcares en almidón, el cual guardan como reserva alimenticia.
- *Fotosíntesis.* En muchos tallos, las capas exteriores de células corticales contienen cloroplastos y efectúan fotosíntesis. En algunas plantas, como los cactus, las hojas se convierten en espinas, y la corteza del tallo es la única parte verde fotosintética de la planta.

Los tejidos vasculares de los tallos transportan agua, nutrimentos disueltos y hormonas

Los tejidos vasculares de los tallos, que transportan agua y sustancias disueltas, interconectan todas las partes del cuerpo de la planta. Los tejidos vasculares producidos por el crecimiento primario del meristemo apical se llaman xilema y floema primarios. En los tallos jóvenes de dicotiledóneas, el xilema y el floema primarios están separados por tejido meristemático llamado cambium, que el meristemo apical deja atrás a medida que el tallo se alarga. Estas tres capas tisulares se extienden a lo largo del tallo, inicialmente formando anillos de haces con forma de cuña de xilema y floema (**FIGURA 42-9**; véase la figura 42-2). El crecimiento secundario en los tallos de dicotiledóneas, como veremos a continuación, produce cilindros concéntricos de xilema y floema.

Las ramas del tallo se forman a partir de células meristemáticas de las yemas laterales

A medida que el tallo crece, pequeños cúmulos de células meristemáticas apicales "quedan atrás" en lugares discretos y característicos llamados **nudos** (las partes del tallo entre los nudos se llaman **entrenudos**; véase la figura 42-9). Las células meristemáticas en los nudos dan origen a los **primordios foliares**, que se desarrollarán en hojas maduras únicas para cada especie de planta. Justo encima del punto de unión de estas hojas, las células meristemáticas también producen **yemas laterales**, que se convertirán en ramas.

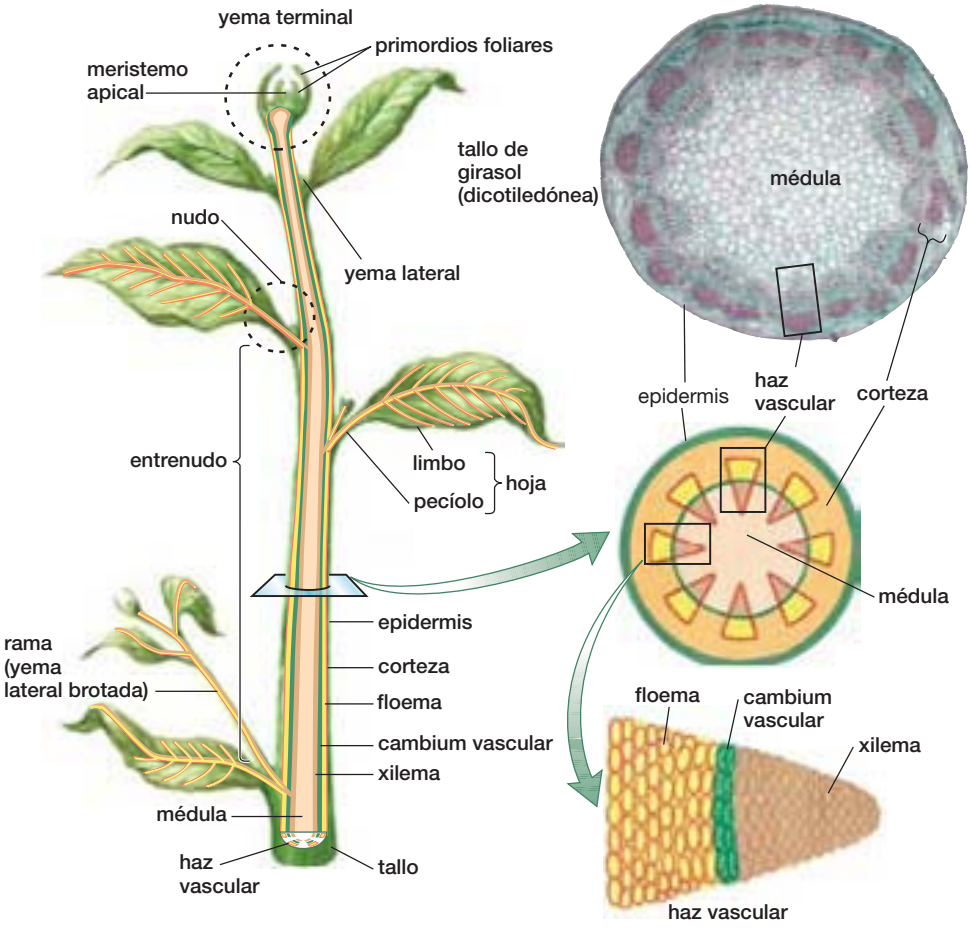
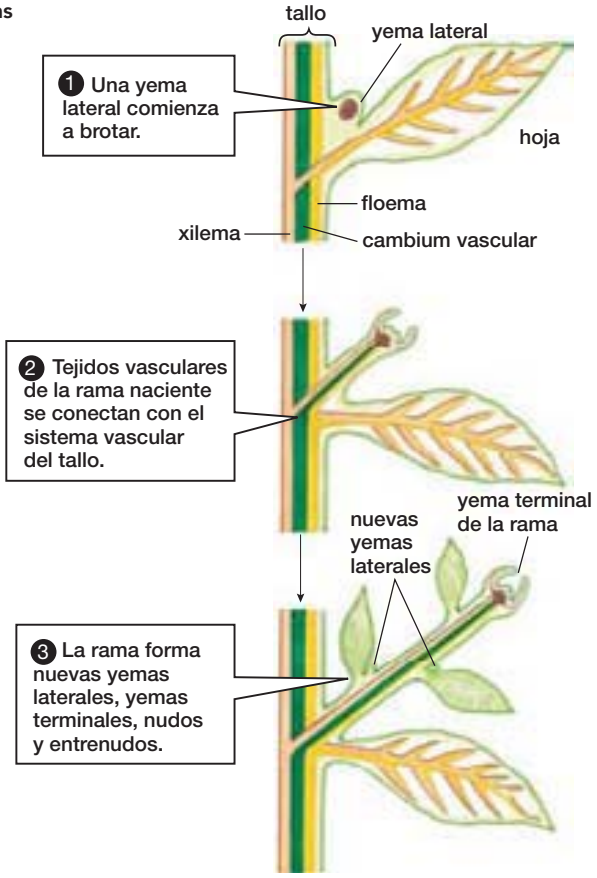


FIGURA 42-9 Estructura de un tallo de dicotiledónea joven
En la punta del tallo, la yema terminal comprende el meristemo apical y varios primordios foliares producidos por el meristemo. Las hojas y las yemas laterales se localizan en los nudos, que están separados por los entrenudos. En un corte transversal se observa que el tejido vascular forma un anillo de haces vasculares en las dicotiledóneas, como en el girasol mostrado en la micrografía. Conforme el tallo crece, los primordios foliares se desarrollan en hojas y los entrenudos se alargan. Una yema lateral (tejido meristemático) permanece entre cada hoja y el tallo, y bien podría dar origen a una rama.

FIGURA 42-10 Cómo se forman las ramas


tallo
yema lateral
1 Una yema lateral comienza a brotar.
hoja
floema
xilema
cambium vascular
2 Tejidos vasculares de la rama naciente se conectan con el sistema vascular del tallo.
yema terminal de la rama
nuevas yemas laterales
3 La rama forma nuevas yemas laterales, yemas terminales, nudos y entrenudos.

Cuando las células meristemáticas de una yema lateral son estimuladas por las hormonas apropiadas (como veremos en el capítulo 44), se activan y la yema brota para convertirse en una rama (**FIGURA 42-10**). Al dividirse las células meristemáticas, liberan hormonas. Esas hormonas hacen que las células parenquimatosas de la corteza entre la yema y los tejidos vasculares del tallo se diferencien en xilema y floema, que luego se conectan con los sistemas vasculares principales del tallo. Al crecer la rama, imita el desarrollo del tallo. El meristemo apical en la punta hace que la rama crezca y produzca primordios foliares y yemas laterales.

El crecimiento secundario produce tallos más gruesos y fuertes

En las coníferas y dicotiledóneas perennes, los tallos podrían sobrevivir hasta cientos de años, volviéndose más gruesos y fuertes cada año. Este crecimiento secundario del tallo es resultado de la división celular en dos meristemos laterales: el **cambium vascular** y el *cambium suberoso* (corcho) (**FIGURA 42-11**).

El cambium vascular produce xilema y floema secundarios

El cambium vascular es un cilindro de células meristemáticas situadas entre el xilema y el floema primarios. Las células hijas del cambium vascular que se producen hacia el interior del tallo se diferencian para generar el xilema secundario; las que se producen hacia el exterior se diferencian para originar el floema secundario (véase la figura 42-11).

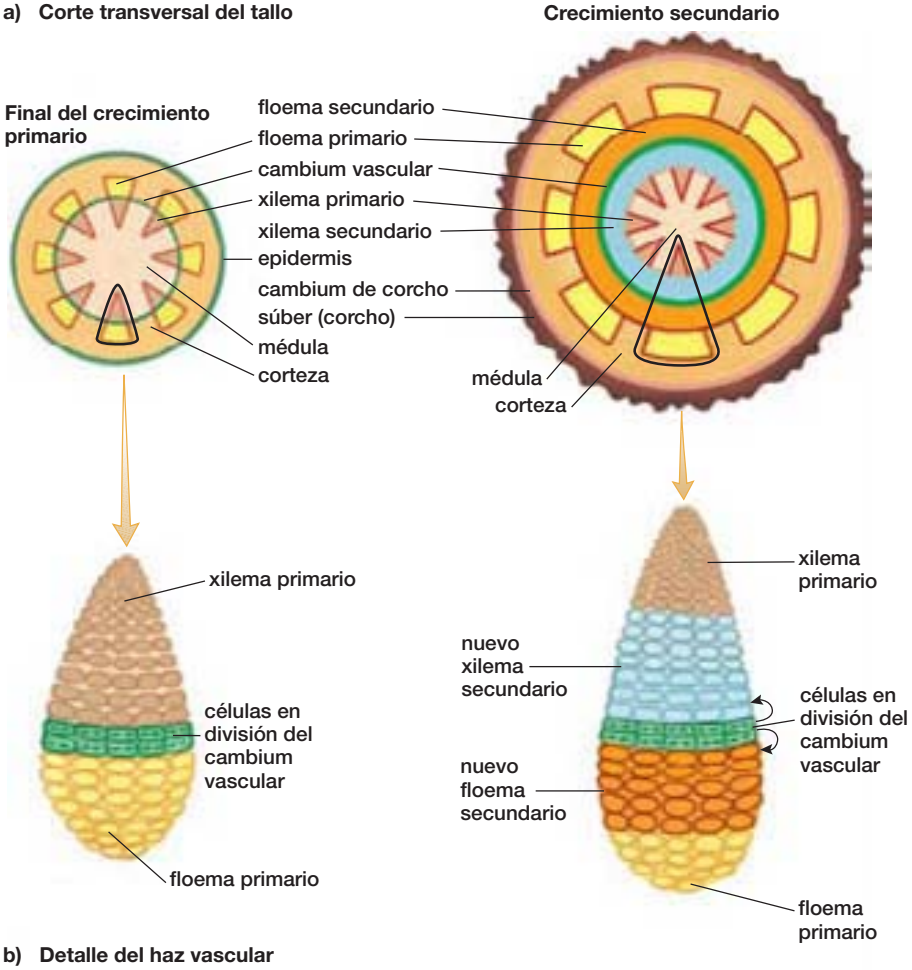


FIGURA 42-11 Crecimiento secundario en un tallo de dicotiledónea

a) Corte transversal de un tallo de dicotiledónea al final del crecimiento primario (izquierda) y durante el crecimiento secundario temprano (derecha). ***b)*** Un haz vascular durante el crecimiento secundario. El cambium vascular separa el xilema y el floema primarios. La división y la diferenciación de las células del cambium vascular producen el xilema secundario en el lado de adentro y el floema secundario en lado de afuera. El cambium de corcho produce células suberosas que cubren el exterior del tallo. PREGUNTA: Si a un árbol se le hace un "cinturón" eliminando una franja de corteza alrededor de su tronco, por lo general, muere. ¿Por qué?

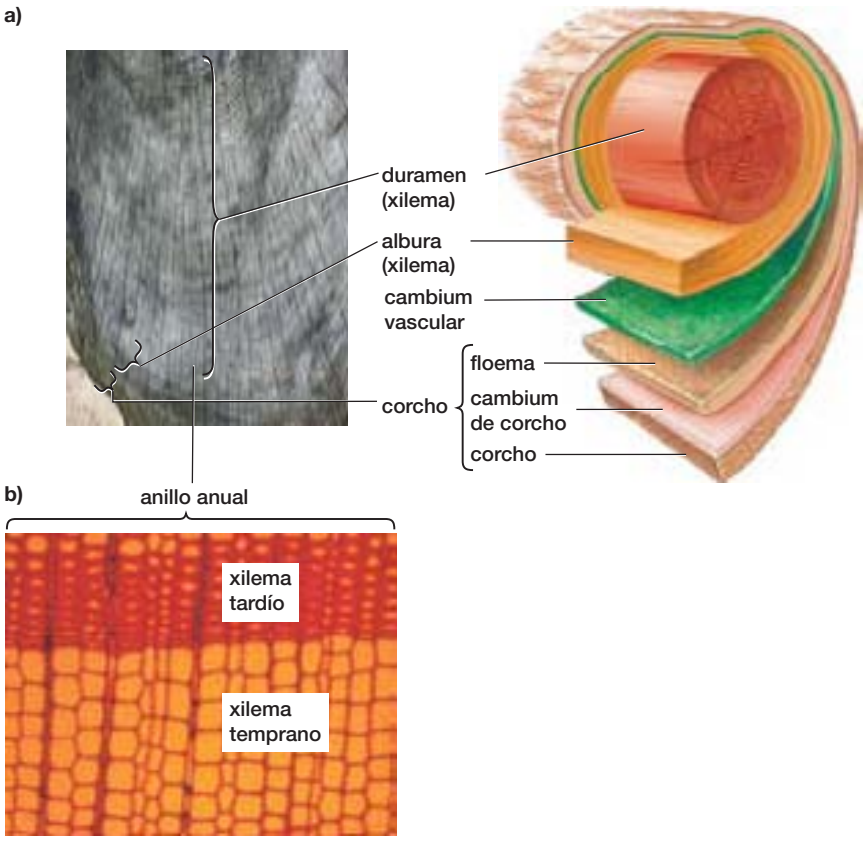


FIGURA 42-12 Cómo se forman los anillos de los árboles
a) Los anillos se pueden ver claramente en esta sección de un tronco de árbol. La proporción entre la pared celular y el "hueco" (el interior, ahora seco, de la célula) determina el color de la madera: la madera temprana, formada durante la primavera, con mucho hueco, es clara; la madera tardía, formada en verano, con pared gruesa, es oscura. El xilema de la albura, que transporta agua, forma una capa más clara dentro de la corteza. El xilema del duramen, más viejo, donde pueden verse mejor los anillos, ya no transporta agua ni minerales. ***b)*** Como muestra esta micrografía, las células del xilema secundario formadas durante la primavera húmeda son grandes (xilema temprano), mientras que las células del xilema secundario formadas durante el verano, más cálido y más seco, son pequeñas (xilema tardío).

El xilema secundario, con sus gruesas paredes celulares, forma la madera en las plantas leñosas perennes, como los árboles (los tallos de los árboles comúnmente se llaman "troncos"). El xilema secundario joven, llamado **albura**, transporta agua y minerales; se localiza inmediatamente dentro del cambium vascular. El xilema secundario más viejo, llamado **duramen**, llena la parte central de los tallos más añejos o de los troncos de los árboles (FIGURA 42-12

ra, las células del xilema joven se hinchan considerablemente y son grandes al madurar. Al continuar el verano y comenzar a escasear el agua, las células de xilema nuevo absorben menos agua y, por consiguiente, son más pequeñas al madurar. El resultado es que los troncos de los árboles, en un corte transversal, muestran un patrón de regiones pálidas (células grandes formadas en la primavera) que se alternan con regiones oscuras (células pequeñas formadas en verano), como se muestra en la figura 42-12.

Tal patrón forma los conocidos **anillos anuales** de crecimiento. Es posible determinar la edad aproximada de un árbol talado contando los anillos de crecimiento oscuros. Los científicos también consideran el espesor de cada anillo para reconstruir el clima en el pasado, ya que los años húmedos producen más crecimiento y anillos más anchos. Empleando esta técnica y los anillos de árboles antiguos, entre ellos un ciprés de 1000 años de edad, los investigadores han elaborado un registro climático de 800 años para el estado de Virginia, Estados Unidos. Con base en ello, han propuesto la hipótesis de que una sequía de siete años (entre 1606 y 1612) acabó con la colonia de Jamestown, fundada en Virginia en 1607.

El crecimiento secundario hace que la epidermis sea remplazada por corcho (súber) leñoso

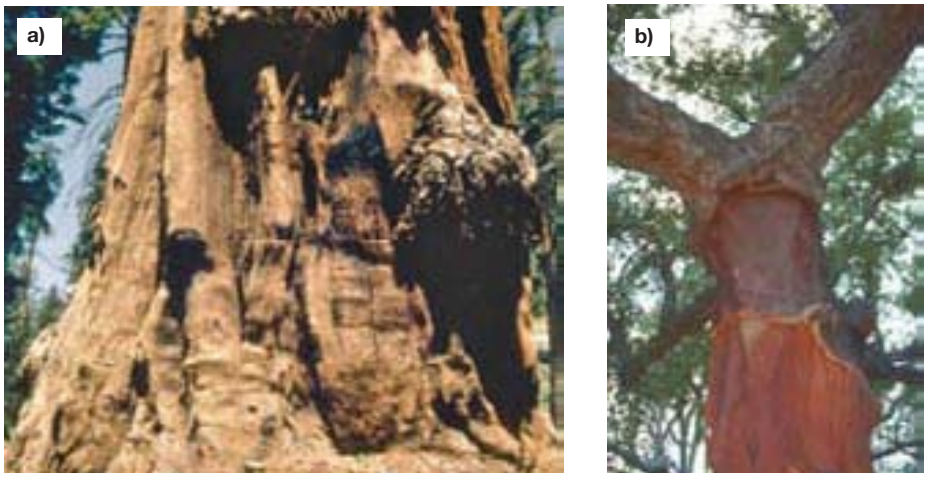


FIGURA 42-13 El corcho constituye la capa exterior de la corteza
Una antigua secuoya de la Sierra Nevada de California. El corcho de las secuoyas produce una cubierta exterior resistente al fuego de medio metro o más de espesor. Esta enorme capa de corcho contribuye a la gran longevidad de las secuoyas. Las pequeñas áreas ennegrecidas de este corcho se deben a incendios del pasado. ***b)*** Una capa de corcho se retiró de este alcornoque. Se regenerará y podrá cosecharse dentro de una década.

ristemo lateral, el cambium de corcho (o suberígeno) (véase la figura 42-11). Estas células se dividen, forman células hijas —llamadas células de corcho, suberígenas o simplemente corcho— y desarrollan paredes celulares resistentes e impermeables que protegen al tronco tanto contra la desecación como contra daños físicos. Las células suberígenas mueren al madurar y, en algunas especies de árboles grandes como la secuoya (**FIGURA 42-13a**), forman una capa protectora de medio metro de espesor. Al expandirse el tronco cada año, las capas más exteriores de corcho se parten o despegan para permitir el crecimiento. Los corchos empleados para taponar botellas se hacen con la capa exterior de cierto tipo de roble, el alcornoque, que los cosechadores desprenden con cuidado (**FIGURA 42-13b**). El corcho del alcornoque se separa del cambium de corcho, dejando atrás la capa de meristemo, de forma que el árbol no se dañe. Unos 10 años después, los cosechadores regresarán y desprenderán la capa regenerada de corcho.

El término común **corteza** incluye todos los tejidos que están afuera del cambium vascular: floema, cambium de corcho y células de corcho. La eliminación de una franja de corteza en toda la circunferencia de un árbol, la llamada *decorticación anular*, siempre es fatal para el árbol porque cercena el floema. Al eliminarse el floema, los azúcares sintetizados en las hojas no pueden llegar a las raíces. Éstas, privadas de energía, no pueden absorber minerales, y el árbol muere.

Las raíces anclan a la planta, absorben nutrimentos y almacenan alimento

El crecimiento primario hace que las raíces se alarguen y se ramifiquen

Al germinar una semilla, la **raíz primaria** —la primera en desarrollarse— penetra en el suelo. Muchas dicotiledóneas, como las zanahorias y los dientes de león, desarrollan un sistema de raíz primaria o típica. Un **sistema de raíz primaria** consiste en la raíz primaria y muchas raíces más pequeñas que crecen de los costados de ésta (**FIGURA 42-14a**). En contraste, en monocotiledóneas como los pastos y las palmas, se produce un **sistema de raíz fibrosa**, en el que la raíz primaria se extingue y es sustituida por muchas raíces nuevas que salen de la base del tallo (**FIGURA 42-14b**). Los sistemas de raíces anclan a la planta, absorben agua y minerales del suelo, además de almacenar agua y moléculas alimenticias. Las raíces primarias pueden almacenar grandes cantidades de alimento (véase "Conexiones evolutivas: Adaptaciones especiales de raíces, tallos y hojas").

FIGURA 42-14 Sistemas de raíz característicos de dicotiledóneas y monocotiledóneas
a) Las dicotiledóneas suelen tener un sistema de raíz primaria que consta de una raíz central larga y muchas raíces secundarias pequeñas que salen de ella. ***b)*** Las monocotiledóneas normalmente tienen un sistema de raíz fibrosa, con muchas raíces del mismo tamaño.

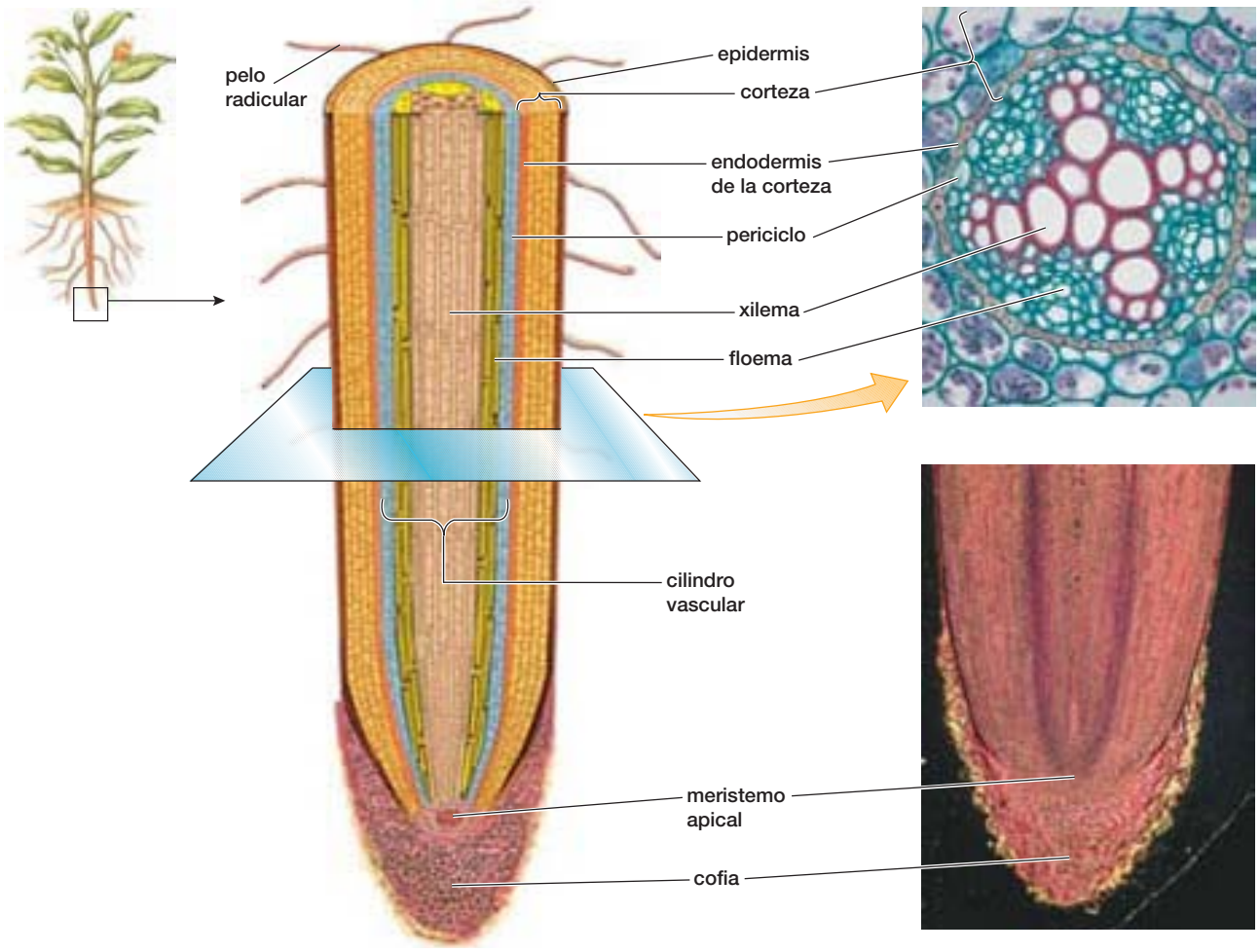


FIGURA 42-15 Crecimiento primario en raíces
El crecimiento primario de las raíces es el resultado de las divisiones mitóticas en el meristemo apical, situado cerca de la punta de la raíz. La raíz se compone de la cofia, la epidermis, el cilindro vascular y la corteza.

En las raíces jóvenes de los sistemas de raíz tanto primaria como fibrosa, las divisiones del meristemo apical dan origen a cuatro regiones distintas (**FIGURA 42-15**). En la punta misma de la raíz, células hijas generadas en la porción inferior del meristemo apical se diferencian para formar la **cofia**, la cual protege al meristemo apical contra raspaduras cuando la raíz se clava entre las partículas rocosas del suelo. Las células de la cofia tienen paredes celulares gruesas y secretan un lubricante que ayuda a penetrar entre las partículas del suelo. No obstante, estas células se desgastan y se deben reponer continuamente con células nuevas del meristemo.

Las células hijas producidas en la porción superior del meristemo apical se diferencian para formar una de tres partes: una envoltura de epidermis, una capa de **corteza** debajo de la epidermis y un centro llamado *cilindro vascular* (véase la figura 42-15).

Bajo la influencia de las hormonas de la planta, las raíces se ramifican. Las ramificaciones de la raíz se originan del **pericliclo**

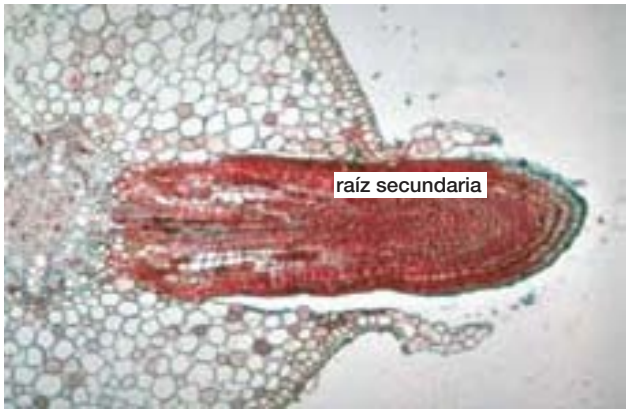


FIGURA 42-16 Raíces secundarias
Las raíces secundarias emergen del pericliclo de una raíz. El centro de esta raíz secundaria ya se está diferenciando para formar tejido vascular.

FIGURA 42-17 Pelos radiculares
Los pelos radiculares, que se observan aquí en un rábano germinado, incrementan enormemente el área superficial de la raíz para absorber agua y minerales del suelo.

las raíces secundarias es similar al de la raíz primaria, a excepción de que la raíz secundaria debe romper la corteza y la epidermis de la raíz primaria. Esto lo logra aplastando las células que encuentra en su camino y secretando enzimas que las digieren. Los tejidos vasculares de las raíces secundarias están conectados con los tejidos vasculares de la raíz primaria.

La epidermis de la raíz es muy permeable al agua y transporta activamente los nutrimentos

Las células que recubren el exterior de la raíz constituyen la epidermis, que está en contacto con el suelo y con el aire y el agua atrapados entre sus partículas. Muchas células epidérmicas tienen pelos que penetran en el suelo (**FIGURA 42-17**). Al incrementar el área superficial de la raíz, los pelos radiculares aumentan la capacidad de ésta para absorber agua y minerales. Esos pelos radiculares podrían añadir docenas de metros cuadrados de área superficial a las raíces incluso de plantas pequeñas.

La membrana epidérmica de la raíz transporta activamente minerales que la planta necesita, desde el suelo hacia las células epidérmicas. La alta concentración de minerales disueltos (solutos) atrae agua hacia las células por ósmosis (como se describió en el capítulo 5, la ósmosis es el movimiento del agua a través de una membrana de una región con menor concentración de soluto a una región con una mayor concentración de éste). Las paredes celulares sin vida que rodean a las células vegetales son porosas al agua, de manera que ésta se mueve del suelo hacia las raíces directamente a través de los espacios abiertos entre las fibras de celulosa que constituyen las paredes celulares. Este movimiento directo del agua (incluida cualquier sustancia disuelta que contenga) se llama **flujo en masa**. En contraste con la ósmosis, el flujo en masa no ocurre a través de la membrana celular.

La corteza constituye buena parte del interior de las raíces jóvenes

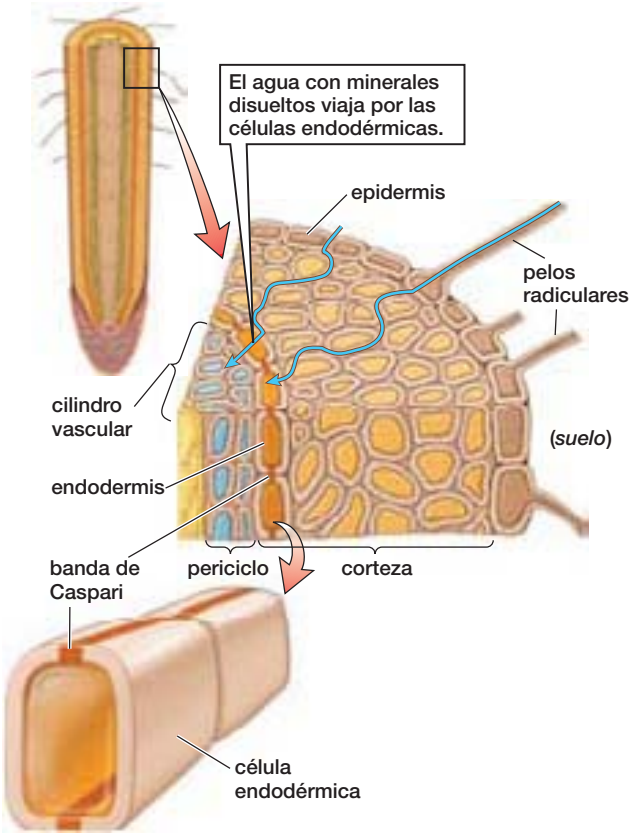


FIGURA 42-18 Función de la banda de Caspari
La banda de Caspari es una franja de material impermeable que se une a las paredes de las células de la endodermis. Esta banda, al envolver cada célula, obliga al agua a pasar por ósmosis a través de las membranas celulares, en vez de fluir a través de los poros de las paredes celulares. PREGUNTA: ¿Qué problema surgiría en una raíz sin banda de Caspari impermeable?

tosas de la corteza, donde se convierten en almidón y se almacenan. Las raíces de las plantas perennes almacenan azúcares y almidones de alta energía durante los meses fríos de invierno y las liberan en primavera para impulsar el crecimiento del sistema de vástago. Las células parenquimatosas son especialmente abundantes en raíces especializadas para almacenar carbohidratos, como las de las zanahorias y las batatas.

La capa más interna de corteza consiste en un anillo de células más pequeñas apretadamente dispuestas, llamada **endodermis**, que rodea al cilindro vascular (véase las figuras 42-15 y **42-18**). La pared celular de cada célula endodérmica contiene una banda de material ceroso e impermeable llamado **banda de Caspari**

Por consiguiente, las células de la endodermis regulan qué sustancias entran al cilindro vascular excluyendo aquellas que pudieran resultar dañinas para la planta. Conocerás otra función de la banda de Caspari en el siguiente apartado.

El cilindro vascular de la raíz contiene tejidos conductores

El **cilindro vascular** contiene los tejidos conductores del xilema y el floema, que transportan agua y materiales disueltos dentro de la planta. La capa más exterior del cilindro vascular es el *periciclo*, localizado inmediatamente dentro de la endodermis de la corteza. Las células del periciclo reciben agua y minerales de las células endodérmicas y transportan activamente los minerales al interior del cilindro vascular (luego, el agua sigue por ósmosis). El transporte activo de los minerales fuera de las células del periciclo mantiene el gradiente de concentración al reducir las concentraciones de minerales en las células del periciclo. Esto hace que los minerales se muevan por difusión del parénquima de la corteza hacia las células endodérmicas y luego a las células del periciclo; el agua siempre fluye por ósmosis. La banda de Caspari de las células endodérmicas evita que el agua rica en minerales se filtre de regreso a la corteza a través de sus paredes celulares porosas.

Dentro del cilindro vascular, el agua que lleva una alta concentración de minerales disueltos fluye a través de las paredes celulares de las células sin vida del xilema y hacia arriba por el cuerpo de la planta (más adelante aprenderás cómo el agua en las plantas parece desafiar la gravedad). Mientras tanto, el floema lleva desde las hojas moléculas de alta energía derivadas de la fotosíntesis, como azúcares. Parte de este alimento se almacena; el resto proporciona energía que permite a las células de la raíz mantenerse por sí mismas, crecer y transportar minerales activamente.

42.4 ¿CÓMO OBTIENEN NUTRIMENTOS LAS PLANTAS?

Las raíces obtienen minerales del suelo

Los **nutrimentos** son sustancias en el ambiente que resultan indispensables para la supervivencia y el crecimiento de los organismos. Unos 20 minerales son nutrimentos esenciales o benéficos para las plantas. Éstas requieren cantidades relativamente grandes de los siguientes nutrimentos: carbono (obtenido del CO_2), hidrógeno (del agua), oxígeno (del aire y el agua), fósforo (de iones fosfato del suelo), nitrógeno (de iones nitrato y amonio del suelo), magnesio, calcio y potasio (como iones en el suelo). Además, las plantas necesitan pequeñas cantidades de hierro, cloro, cobre, manganeso, zinc, boro y molibdeno. El dióxido de carbono y el oxígeno suelen entrar en la planta por difusión desde el aire hacia las hojas, los tallos y las raíces. Las raíces extraen del suelo agua y todos los demás nutrimentos que, en conjunto, se denominan **minerales**

lulas de la raíz es por lo menos 10 veces mayor que en el agua del suelo, así que la difusión no puede introducir potasio en la raíz. En general, las raíces utilizan el transporte activo para introducir minerales en las células epidérmicas en contra de sus gradientes de concentración. Esto requiere de ATP generado por las mitocondrias de las raíces, y la producción de ATP requiere de oxígeno. Por eso, para dar sustento a las plantas, el suelo debe contener espacios de aire. La inundación (o el riego excesivo) puede matar a las plantas al privar a sus raíces de oxígeno. La absorción de minerales por parte de las raíces se explica con mayor detalle en "De cerca: ¿Cómo absorben agua y minerales las raíces?".

Las relaciones simbióticas ayudan a las plantas a obtener nutrimentos

Muchos minerales son demasiado escasos en el agua del suelo como para sustentar el crecimiento de las plantas. Un nutrimento, el nitrógeno, casi siempre escasea. Los científicos sostienen la hipótesis de que los colores rojos del otoño en realidad son sintetizados para ayudar a las plantas a recuperar los compuestos que contienen nitrógeno en sus hojas antes de que se caigan (véase "Otro vistazo al estudio de caso: ¿Por qué las hojas se tiñen de rojo en el otoño?"). La mayoría de las plantas han establecido relaciones benéficas con hongos o bacterias especializados que les ayudan a adquirir nutrimentos escasos como nitratos y fosfatos.

Las micorrizas de los hongos ayudan a las plantas a obtener minerales

La mayoría de las plantas terrestres establecen relaciones simbióticas con hongos para producir complejos raíz-hongo llamados **micorrizas**, que ayudan a la planta a extraer y absorber minerales del suelo. Los hongos microscópicos permanecen entrelazados entre las células de la raíz y se extienden hacia el suelo (**FIGURA 42-19**). El hongo hace que ciertos nutrimentos, como el fósforo, sean más accesibles y fáciles de absorber para las raíces, quizá convirtiendo los minerales unidos a las rocas en compuestos más simples y solubles, de manera que las membranas plasmáticas de las células los puedan transportar. A cambio, el hongo recibe azúcares, aminoácidos y vitaminas de la planta. Así, tanto el hongo como la planta pueden crecer en lugares en los que ninguno podría sobrevivir por sí solo, incluyendo desiertos y suelos rocosos ubicados a gran altura y con bajo contenido de nutrimentos.

La investigación ha revelado que en algunos bosques, las micorrizas forman una extensa red subterránea que vincula los árboles, incluso de diferentes especies. Esta red de hongos transfiere compuestos de carbono producidos por fotosíntesis de un árbol a otro, haciendo que aquellos con acceso a abundante luz solar contribuyan a sustentar a sus vecinos de zonas sombreadas. De esta forma, como un Robin Hood que actúa bajo tierra, las micorrizas transfieren productos fotosintéticos de los ricos a los pobres. Los investigadores piensan que la transferencia de nutrimentos entre los árboles por medio de las micorrizas podría ser un factor importante en la salud general del bosque.

Los nódulos llenos de bacterias en las raíces de las leguminosas ayudan a esas plantas a obtener nitrógeno

Los aminoácidos, los ácidos nucleicos y la clorofila contienen nitrógeno, así que las plantas necesitan grandes cantidades de

DE CERCA ¿Cómo absorben agua y minerales las raíces?

El agua entra libremente en la raíz a través de las paredes porosas y sin vida que rodean cada célula. Este flujo en masa continúa hasta que el agua llega a la endodermis, donde la banda de Caspari obliga al agua a moverse a través de la membrana celular por ósmosis (flecha oscura en la **FIGURA E42-1**).

La absorción de minerales por la raíz generalmente sigue un proceso de cuatro pasos (véase la figura E42-1):

1. *Transporte activo hacia los pelos radiculares.* Los pelos radiculares que salen de las células epidérmicas representan la mayor parte del área superficial de la raíz y están en contacto íntimo con el agua del suelo. Las membranas plasmáticas de los pelos radiculares utilizan energía del ATP para transportar minerales del agua del suelo al citoplasma epidérmico, donde se concentran. Luego, el agua les sigue por ósmosis.
2. *Difusión a través del citoplasma a las células del periciclo.* El citoplasma de las células vegetales vivas adyacentes está interconectado por los plasmodesmos. Los minerales se difunden por estos últimos, siguiendo sus gradientes de concentración, comenzando en las células epidérmicas (donde los concentra el transporte activo) a través de las células parenquimatosas, luego a las células endodérmicas de la corteza y finalmente a las células del periciclo que constituyen la capa exterior del cilindro vascular.
3. *Transporte activo al espacio extracelular del cilindro vascular.* Las células del periciclo transportan activamente minerales fuera del citoplasma hacia el espacio extracelular dentro del cilindro vascular. El agua sigue por ósmosis.
4. *Difusión hacia el xilema.* Tanto las traqueidas como los elementos de los vasos del xilema maduro consisten sólo de un "esqueleto" de paredes celulares sin vida, las cuales están llenas de hoyos (véase la figura 42-6). El agua que transporta minerales disueltos se mueve fácilmente hacia los tubos vacíos del xilema.

Como podrás apreciar, una de las funciones de la banda de Caspari impermeable consiste en sellar los espacios entre las células endodérmicas que rodean al cilindro vascular. Si el agua y los minerales disueltos que entran en el cilindro vascular pudieran regresar a través de las paredes celulares fuera de las células endodérmicas, los minerales saldrían otra vez del cilindro vascular tan rápidamente como entran en él por bombeo. La banda de Caspari retiene el agua rica en minerales dentro del cilindro vascular, desde donde sube por el xilema.

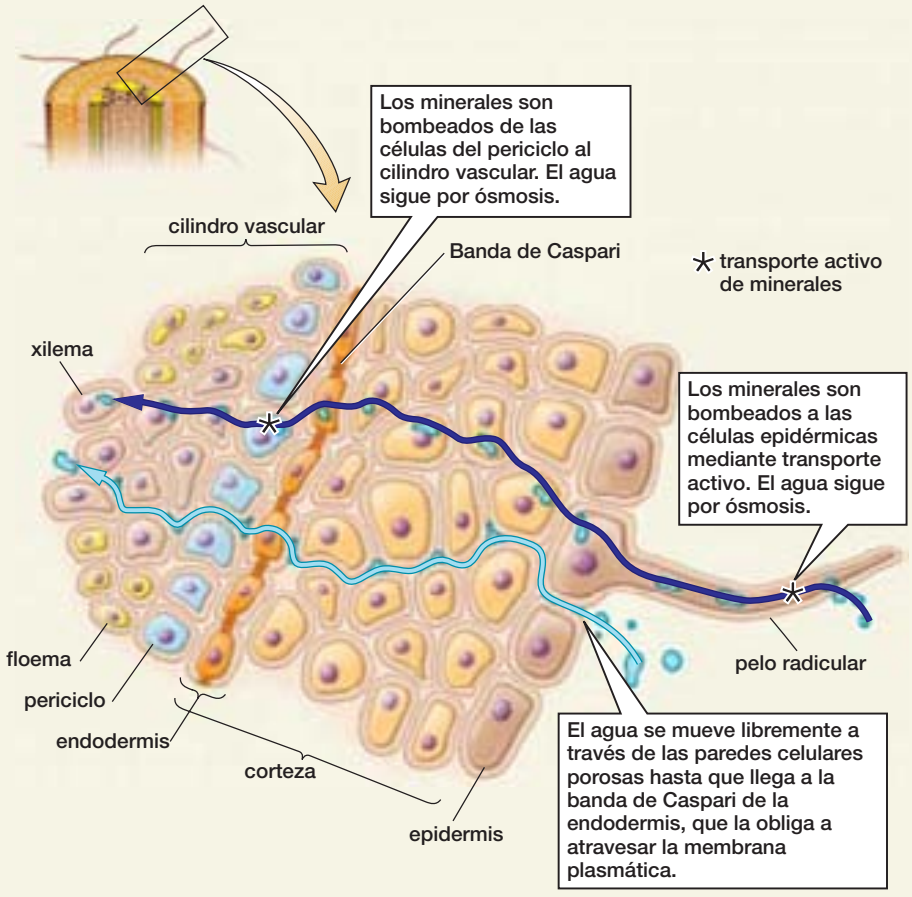
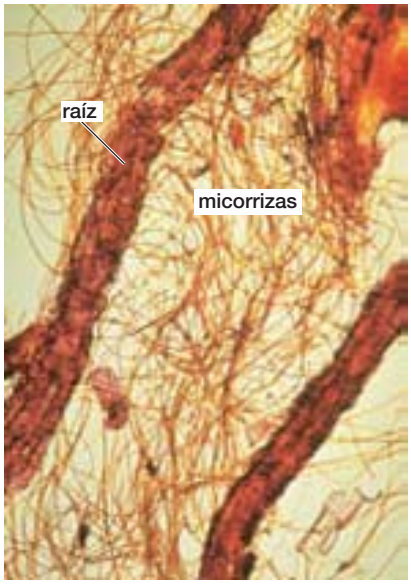

Los minerales son bombeados de las células del periciclo al cilindro vascular. El agua sigue por ósmosis.
cilindro vascular
Banda de Caspari
transporte activo de minerales
xilema
Los minerales son bombeados a las células epidérmicas mediante transporte activo. El agua sigue por ósmosis.
floema
periciclo
endodermis
corteza
epidermis
pelo radicular
El agua se mueve libremente a través de las paredes celulares porosas hasta que llega a la banda de Caspari de la endodermis, que la obliga a atravesar la membrana plasmática.

FIGURA E42-1 Captación de minerales y agua por las raíces
Flecha azul oscuro: Una solución concentrada de minerales sigue el camino hacia el interior de las células. Las células del periciclo transportan activamente los minerales hacia el interior del cilindro vascular, conservando un gradiente de concentración que permite que los minerales se difundan hacia adentro y que el agua siga por ósmosis. **Flecha azul claro:** El agua se mueve libremente a través de las paredes celulares hasta llegar a la banda de Caspari y debe viajar por ósmosis a través de las membranas celulares de la endodermis para ingresar en el cilindro vascular.



a)

b)

FIGURA 42-19 Micorrizas, una simbiosis raíz-hongo
a) Una maraña de hebras fungales rodea la raíz y la penetra. ***b)*** Vástagos que crecieron en condiciones idénticas con micorrizas (derecha) y sin micorrizas (izquierda) ponen de manifiesto la importancia de éstas en la nutrición de las plantas. PREGUNTA: Con base en lo que has aprendido acerca de la función de las raíces, ¿qué parte del sistema de raíces esperarías que resultara invadida por los hongos micorrizales?

este elemento. Aunque el nitrógeno gaseoso (N_2) constituye cerca de 78 por ciento de la atmósfera, las plantas sólo pueden captar nitrógeno a través de sus raíces en forma de iones amonio (NH_4^+) o iones nitrato ($N0_3^-$).

Aunque el N_2 se difunde de la atmósfera a los espacios de aire en el suelo, las plantas no pueden aprovecharlo porque carecen de las enzimas necesarias para efectuar la **fijación de nitrógeno**: la conversión de N_2 en amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3). Existe una variedad de **bacterias fijadoras de nitrógeno**, algunas de las cuales viven libremente en el suelo, sí poseen esas enzimas. Sin embargo, la fijación de nitrógeno es muy costosa en términos de energía, pues consume al menos 12 moléculas de ATP por cada ion amonio sintetizado. Por ello, las bacterias no suelen fabricar mucho NH_4^+ extra para liberarlo en el suelo.

Algunas plantas, sobre todo las **leguminosas** (como chícharos, trébol, alfalfa y soya), forjan una relación mutuamente benéfica con ciertas especies de bacterias fijadoras de nitrógeno. Al secretar sustancias químicas al suelo, las leguminosas atraen a bacterias fijadoras de nitrógeno hacia sus raíces. Una vez ahí, las bacterias entran en los pelos radiculares y se dirigen hacia las células de la corteza. Al multiplicarse tanto las bacterias como sus células huéspedes de la corteza, se forma un **nódulo**, esto es, un abultamiento compuesto de células de corteza que alberga bacterias (**FIGURA 42-20**). En una relación cooperativa, las bacterias que están en las células de la corteza toman algunas de las moléculas que almacenan alimento en la planta para efectuar sus procesos metabólicos, entre ellos la fijación de nitrógeno. Las bacterias obtienen tanta energía de la planta que producen más NH_4^+ del que necesitan. El excedente de NH_4^+ se difunde al citoplasma de sus células huéspedes y proporciona a la planta un abasto constante de nitrógeno utilizable. Los iones amonio también se difunden por el suelo circundante y lo hacen más propicio para el crecimiento de otros tipos de plantas. Los agricultores plantan leguminosas no sólo por su valor comercial, sino también para enriquecer el suelo con NH_4^+ para cosechas futuras.

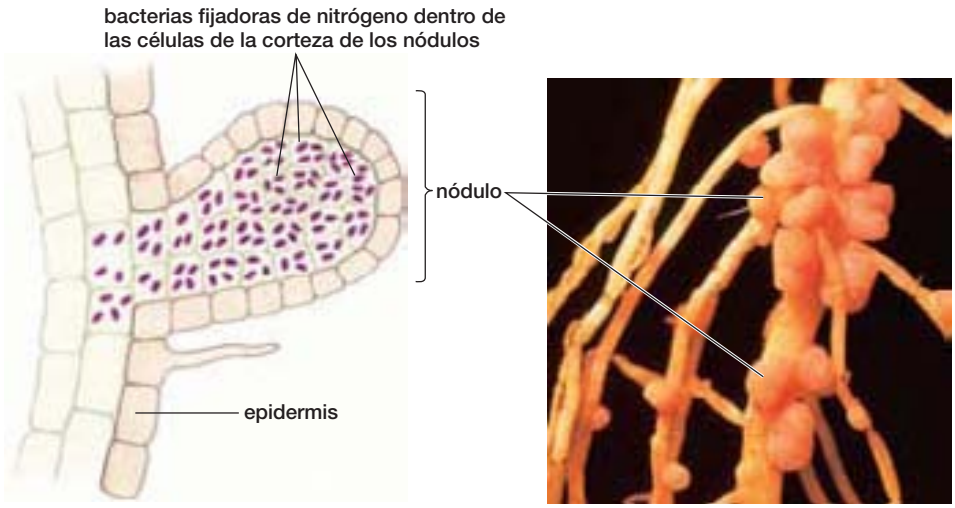


FIGURA 42-20 Los nódulos de la raíz albergan bacterias fijadoras de nitrógeno

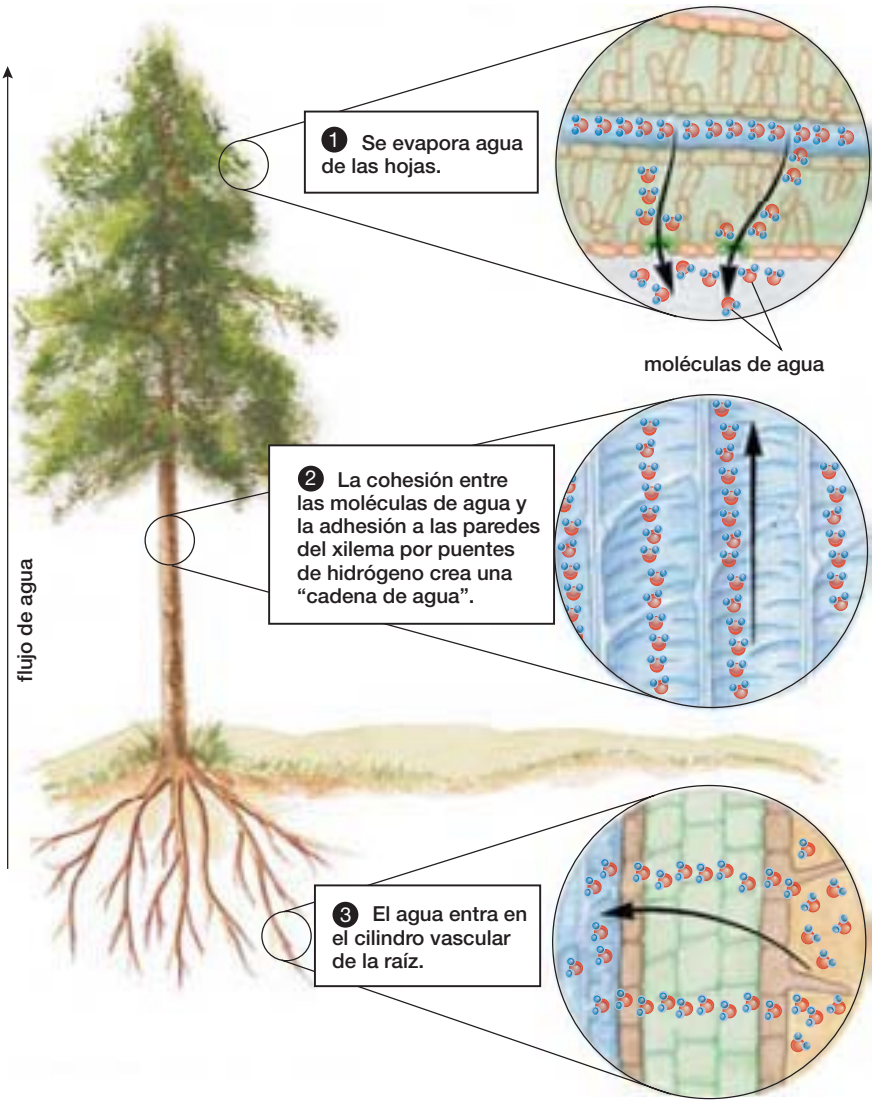

1 Se evapora agua de las hojas.
moléculas de agua
2 La cohesión entre las moléculas de agua y la adhesión a las paredes del xilema por puentes de hidrógeno crea una "cadena de agua".
flujo de agua
3 El agua entra en el cilindro vascular de la raíz.

FIGURA 42-21 Teoría de cohesión-tensión para el flujo de agua de la raíz a las hojas por el xilema
① Al evaporarse moléculas de agua de las hojas por transpiración, otras moléculas de agua las sustituyen desde el xilema de las nervaduras de las hojas. ② Cuando la evaporación tira de la parte superior de la "cadena de agua", sube el resto de la cadena, que se extiende hasta las raíces. ③ Al retirarse las moléculas de la cadena de agua por el xilema de las raíces, la disminución en la presión hidrostática dentro del xilema y en el espacio extracelular circundante hace que ingrese agua del suelo para reabastecer continuamente la parte inferior de la cadena.

42.5 ¿CÓMO TRANSPORTAN LAS PLANTAS EL AGUA DE LAS RAÍCES A LAS HOJAS?

Por los menos el 90 por ciento del agua absorbida por las raíces de las plantas se evapora a través de los estomas de las hojas y, en menor grado, a través de los estomas de los tallos en un proceso llamado **transpiración**. Como veremos a continuación, la transpiración impulsa el movimiento de agua hacia arriba por el cuerpo de la planta.

El movimiento del agua en el xilema se explica con la teoría de cohesión-tensión

Después de entrar en el xilema de las raíces, el agua y los minerales aún deben subir a las partes más altas de la planta. En una secuoya, la distancia puede ser ¡hasta de 100 metros! El flujo en masa hace que los líquidos suban por el xilema de la raíz al tallo y las hojas. Puesto que los minerales están disueltos en el agua, son transportados pasivamente conforme el agua fluye hacia arriba. ¿Cómo vencen las plantas la fuerza de la gravedad para que el agua fluya hacia arriba? La *teoría de cohesión-tensión* explica este fenómeno.

Según la **teoría de cohesión-tensión**, el agua sube por el xilema impulsada por la transpiración: la evaporación de agua de las hojas (FIGURA 42-21

Cohesión.

Tensión.

Los puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua producen cohesión

Como recordarás del capítulo 2, el agua es una molécula polar; sus extremos portan pequeñas cargas opuestas. Como resultado, las moléculas de agua cercanas se atraen y forman puentes de hidrógeno. Así como débiles hilos de algodón individuales juntos forman la resistente tela de unos *jeans*, la red de puentes de hidrógeno del agua, individualmente débiles, produce colectivamente una *cohesión*

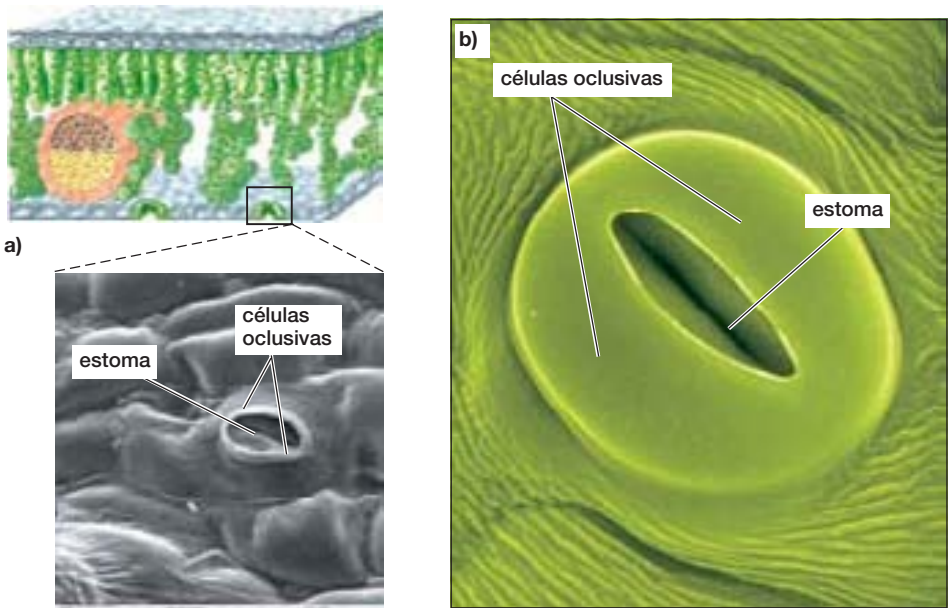


FIGURA 42-22 Estomas
Estomas vistos a través de ***a)*** un microscopio óptico y ***b)*** un microscopio electrónico de barrido. En la fotomicrografía puede verse que las células oclusivas contienen cloroplastos (los óvalos verdes dentro de las células), pero las demás células epidérmicas no. PREGUNTA: Cuando los estomas se cierran, ¿cómo resulta afectada la fotosíntesis? ¿Cómo se ve afectado el movimiento del agua en las raíces?

La transpiración produce la tensión que tira del agua hacia arriba

La transpiración aporta la fuerza para mover el agua: la parte de la "tensión" de la teoría. Al transpirar una hoja, la concentración de agua en el mesófilo disminuye. Esta disminución hace que pase agua por ósmosis del xilema a las células del mesófilo que se están deshidratando. Las moléculas de agua que salen están unidas por puentes de hidrógeno a otras moléculas de agua del mismo tubo de xilema. De esta forma, conforme el agua sale y se evapora, tira de las moléculas de agua adyacentes y las hace subir por el xilema. Este proceso se propaga hasta las raíces, donde el agua que está en el espacio extracelular alrededor del xilema es atraída a través de los agujeros en las paredes de los elementos de los vasos y las traqueidas. La fuerza generada por la evaporación del agua de las hojas —transmitida por el xilema hasta las raíces— es tan intensa que permite absorber agua incluso de suelos muy secos. ¿Esta teoría de cohesión-tensión permite explicar el movimiento de agua desde el suelo hasta las hojas más altas de una secuoya gigante? La respuesta es sí. Empleando un aparato especial, los botánicos han medido tensiones de agua en el xilema que bastan para subir agua más de 200 metros.

Los científicos calculan que un gran arce podría transpirar unos 250 galones de agua al día. ¿Cómo obtiene un árbol la energía para subir aproximadamente una tonelada de agua unos 14 metros desde el suelo cada día de verano? Piensa un poco acerca de la transpiración y te darás cuenta de que impulsar el agua hacia arriba sólo requiere de que las hojas estén expuestas, con sus estomas abiertos, a la luz solar. La energía solar provee la potencia al evaporar directamente el agua de las hojas. Además piensa en el efecto de un bosque entero, en el que cada árbol arroja cientos de galones de agua al aire cada día. Es fácil predecir que la transpiración tiene un efecto importante sobre el clima, como se describe en "Guardián de la Tierra: Las plantas ayudan a regular la distribución del agua".

RESUMEN

Transporte de agua en el xilema

La transpiración de las hojas elimina agua de la parte superior de un tubo de xilema. El agua transpirada se repone con agua que se encuentra más abajo en el tubo, así que el agua sigue subiendo por el xilema por flujo en masa. Este flujo ascendente retira agua del xilema de la raíz y del espacio extracelular circundante, lo que promueve el movimiento de más agua en el cilindro vascular de la raíz. El flujo de agua en el xilema es unidireccional, de la raíz al vástago, porque sólo este último puede transpirar.

Estomas ajustables controlan la intensidad de la transpiración

Aunque la transpiración provee la fuerza que transporta agua y minerales a las hojas en lo alto de la planta, también es la principal vía de pérdida de agua, lo que podría poner en riesgo la supervivencia misma de la planta, sobre todo en tiempos de calor y de sequía. Casi toda el agua se transpira a través de los estomas de las hojas y el tallo, así que podríamos pensar que basta con que la planta cierre los estomas para no perder agua. Sin embargo, no hay que olvidar que la fotosíntesis requiere dióxido de carbono del aire, el cual se difunde al interior de la hoja primordialmente a través de los estomas abiertos. Por consiguiente, la planta debe lograr un equilibrio entre la captación de dióxido de carbono y la pérdida de agua.

Un estoma consiste en una abertura central rodeada de dos células oclusivas fotosintéticas en forma de salchicha, las cuales regulan el diámetro de la abertura (**FIGURA 42-22**). Salvo algunas excepciones, los estomas se abren durante el día, cuando la luz solar permite la fotosíntesis, y se cierran de noche para no perder agua. También se cierran en presencia de luz si la planta está perdiendo demasiada agua. Las plantas con hojas de orientación horizontal generalmente tienen más estomas en la superficie inferior o envés, que está a la sombra, a fin de reducir la evaporación.

GUARDIÁN DE LA TIERRA — Las plantas ayudan a regular la distribución del agua

La distribución de las plantas en el planeta está limitada por factores ambientales y por las adaptaciones de las plantas. Tal vez el factor ambiental más importante que afecta la distribución de las plantas sea el agua. Los cactus habitan en los desiertos porque pueden resistir la sequía; las orquídeas y las caobas necesitan los frecuentes aguaceros de la selva tropical. Sin embargo, esta relación funciona en ambos sentidos: las plantas, mediante la transpiración, ayudan a regular la cantidad y la distribución de la precipitación pluvial, el agua en el suelo e incluso el flujo de los ríos.

Consideremos la selva tropical del Amazonas (**FIGURA E42-2**). Un acre de suelo (unos 4000 m^2) sustenta cientos de árboles gigantes, cada uno de los cuales tiene millones de hojas. El área superficial de las hojas es inconmensurablemente mayor que la del suelo, así que el 75 por ciento de toda el agua que se evapora del acre de bosque proviene de la transpiración de las hojas. Esta transpiración eleva la humedad del aire. De hecho, casi la mitad del agua transpirada por las hojas vuelve a caer en forma de lluvia. Así que cerca de un tercio de la precipitación total es agua reciclada por transpiración. En un sentido muy real, la elevada humedad y los frecuentes aguaceros que la selva necesita para sobrevivir en parte son creados por la selva misma. En la actualidad, continúa la tala inmoderada de la selva amazónica. Los árboles, al ser quemados, liberan CO_2 y son remplazados por cultivos que servirán de alimento a la creciente población y, en los últimos tiempos, para cultivar soya y producir combustibles biodiésel. Los cultivos agrícolas no son ni cercanamente tan eficientes para atrapar la humedad y transpirar como los árboles que remplazan. En consecuencia, aumentan las aguas de escurrimiento, la humedad se reduce y las lluvias disminuyen. La menor cantidad de lluvia no sólo frena la reforestación de los bosques y las selvas después de que los campos son abandonados, sino también daña a las zonas cercanas, cambiando gradualmente su tipo de vegetación. Aunque es posible proteger partes de las selvas tropicales de la tala, el ecosistema entero es susceptible a los efectos del cambio climático provocado por la pérdida de árboles en las áreas deforestadas.

FIGURA E42-2 La selva tropical amazónica
La comunidad selvática ayuda a producir y conservar su propio ambiente.

El bosque neblinoso de Monteverde, que cubre las zonas más elevadas de la Cordillera de Tilarán en Costa Rica, es enteramente dependiente de un manto de niebla casi constante. La transpiración de las selvas bajas de Costa Rica aportan humedad a los vientos que fluyen hacia arriba por las pendientes de las montañas; esta humedad se condensa y forma neblina a medida que el aire se enfría. Los científicos que estudian el bosque neblinoso de Monteverde han notado una alarmante tendencia: las nubes están subiendo. Las poblaciones de ranas y sapos han declinado considerablemente en algunas áreas y las aves que normalmente no se encuentran en los bosques neblinosos están invadiendo las tierras bajas en las que antes había nubes. ¿Por qué? Un siglo de tala inmoderada ha eliminado el 80 por ciento de las selvas de tierras bajas en Costa Rica. El ecólogo Robert Lawton y sus colaboradores, utilizando imágenes satelitales, encontraron que las áreas deforestadas tenían una cobertura de nubes relativamente baja en comparación con las selvas cercanas. Como los vientos que suben por las pendientes montañosas obtienen agua de las tierras bajas, los investigadores piensan que la transpiración reducida ha disminuido el contenido de humedad del aire, así que éste debe subir más alto antes de que se formen las nubes. Las condiciones libres de niebla se están volviendo más comunes, y los científicos advierten que si las nubes desaparecen por varios días de manera simultánea, el frágil ecosistema podría colapsar.

Estos ejemplos muestran que las plantas influyen considerablemente sobre las propiedades de la biosfera, como la humedad, la precipitación pluvial, el agua del suelo y el caudal de los ríos. Tales factores, a la vez, influyen en todas las formas de vida de la región. Las actividades humanas que alteran las plantas pueden tener un importante efecto sobre los ecosistemas.

Las plantas regulan sus estomas

Luz. Cuando incide luz sobre pigmentos especiales contenidos en las células oclusivas, se inicia una serie de reacciones que hacen que se transporte activamente potasio al interior de esas células. El agua lo sigue por ósmosis y los estomas se hinchan y se abren. De noche, el bombeo de potasio cesa. El potasio "sobrante" dentro de las células oclusivas sale por difusión, por lo que los estomas se cierran, conservando agua.

- *Dióxido de carbono.* Las concentraciones bajas de CO_2 (como las que se presentan durante el día cuando la fotosíntesis excede la respiración celular) estimulan el transporte activo de potasio a las células oclusivas. Esto hace que se abran los estomas y entre CO_2 a las hojas por difusión. De noche, la respiración celular en ausencia de fotosíntesis eleva los niveles de CO_2, lo que detiene el transporte de potasio al interior de las células oclusivas y permite que éstas se cierren.
- *Agua.* Si una hoja pierde agua con mayor rapidez de la que puede reponerla, comienza a marchitarse. En estas condiciones, las células del mesófilo excretan una hormona (llamada ácido abscísico, que se describirá en el capítulo 44), la cual inhibe intensamente el transporte activo de potasio a las células oclusivas (aun cuando la luz es adecuada). Al

FIGURA 42-23 Los áfidos se alimentan del líquido azucarado de los tubos cribosos del floema
a) Cuando un áfido perfora un tubo criboso, la presión en el tubo empuja el líquido fuera del floema hacia su tracto digestivo. En ocasiones, la presión es tan grande, que el líquido sale por el ano del áfido como "secreción dulce". Ciertas especies de hormigas recolectan este líquido y, a cambio, defienden a los áfidos de sus depredadores. ***b)*** El flexible estilete de un áfido atraviesa muchas capas de células hasta penetrar un elemento de tubo criboso.

salir el potasio de las células oclusivas por difusión, el agua le sigue por ósmosis, las células oclusivas se encogen y los estomas se cierran. Como cabe suponer, cuando las plantas de la casa o del jardín se marchitan, no alcanzan los niveles normales de fotosíntesis.

42.6 ¿CÓMO TRANSPORTAN AZÚCARES LAS PLANTAS?

Los azúcares sintetizados en las hojas deben llevarse a otras partes de la planta, donde nutren estructuras no fotosintéticas como raíces y flores, o bien, se almacenan en las células corticales de la raíz y el tallo. El transporte de azúcar es la función del floema.

Los botánicos que estudian el contenido del floema se valen de un inusual ayudante de laboratorio: el áfido. Los *áfidos* o pulgones son insectos que se alimentan del líquido azucarado, llamado *savia del floema*, contenido en los tubos cribosos. El áfido inserta su estilete, un tubo aguzado y hueco, a través de la epidermis y la corteza de un tallo joven hasta un tubo criboso (FIGURA 42-23). Luego, el áfido se relaja y simplemente deja que el líquido fluya por el estilete hasta su tracto digestivo; la presión que impulsa la savia hace que el cuerpo del áfido se expanda como un globo. Los botánicos cortan el áfido pero dejan el estilete clavado en su lugar, y así pueden recolectar y analizar el líquido que fluye por el estilete separado del cuerpo del animal. La savia del floema consiste principalmente en agua con un contenido de azúcares disueltos (principalmente sacarosa) que varía entre el 10 y el 25 por ciento. La savia también distribuye aminoácidos y hormonas vegetales por el cuerpo de la planta. ¿Qué impulsa el movimiento de esta solución concentrada azucarada?

La teoría de flujo-presión explica el movimiento de azúcares en el floema

La explicación más ampliamente aceptada para el transporte de líquido en el floema de las angiospermas es la **teoría de flujo-presión**, que establece que las diferencias en la presión del agua en realidad se crean indirectamente por la producción neta y el uso de azúcar en diferentes partes de la planta. Cualquier parte de la planta que sintetiza más azúcares de los que utiliza se considera una **fuente** de azúcar; por ejemplo, una hoja madura. En cambio, cualquier estructura que consume más azúcares de los que produce (esto incluye convertir azúcar en almidón para su almacenamiento) es un **sumidero** de azúcar. Los frutos en desarrollo son buenos ejemplos de sumideros de azúcar. Los tubos cribosos del floema llevan la savia lejos de las fuentes de azúcares (que tienen exceso de éstos), hacia los sumideros (donde se requieren azúcares).

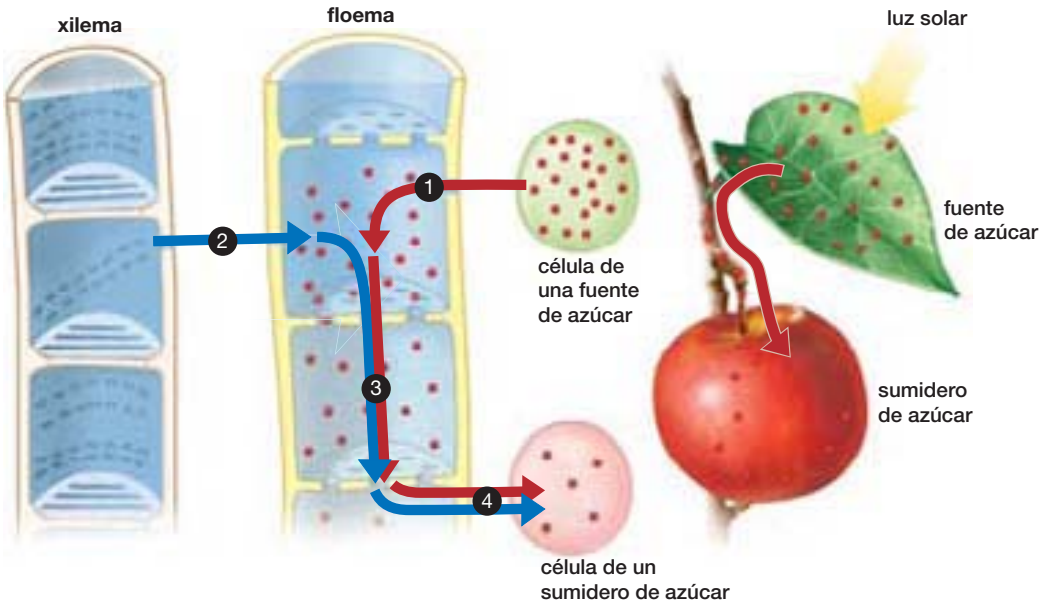


FIGURA 42-24 Teoría de flujo-presión
Una hoja que realiza fotosíntesis es una fuente de azúcar, mientras que un fruto en desarrollo es un sumidero de azúcar. Las diferencias en la presión del agua impulsan la savia del floema, que contiene sacarosa, de la hoja al fruto. Los números corresponden a las explicaciones del texto.

La teoría de flujo-presión se ilustra en la **FIGURA 42-24**, cuyos números corresponden a los que aparecen en el texto. ① El azúcar que produce la célula de una fuente (en la hoja que efectúa fotosíntesis) es transportado activamente al tubo criboso del floema. Esto eleva la concentración de azúcar (soluto) en la savia del floema en esa porción del tubo criboso. ② El agua (del xilema) sigue por ósmosis al azúcar en su trayecto por el tubo criboso. Puesto que sus paredes celulares rígidas evitan que las células del tubo criboso se expandan, el agua que entra por el tubo criboso aumenta la presión de la savia del floema. ③ La presión del agua impulsa la savia rica en azúcares por flujo en masa a través de los tubos cribosos del floema hacia regiones de menor presión. ④ Las células de un sumidero de azúcar (una manzana, por ejemplo) transportan activamente azúcar fuera del floema, y el agua le sigue por ósmosis, creando una zona de menor presión hidráulica en esta parte del tubo criboso. La savia del floema se mueve de la región fuente, donde la presión del agua es alta, al sumidero, donde la presión del agua es más baja (gradiente azul en el floema), transportando consigo el azúcar.

Las fuentes y los sumideros de azúcar en la planta pueden cambiar con las estaciones. Por ejemplo, las estructuras de almacenamiento de alimento, como las raíces primarias de las zanahorias, son sumideros de azúcar conforme se desarrollan durante el verano; pero son fuentes de azúcar en la primavera, cuando suministran energía para que se desarrolle una nueva planta (si no se cosechan antes). La teoría de flujo-presión explica cómo se mueve la savia del floema de arriba abajo en la planta, impulsada por las diferencias de presión que están determinadas por las actividades metabólicas y la demanda de azúcar de las diversas partes de la planta.

CONEXIONES EVOLUTIVAS

Adaptaciones especiales de raíces, tallos y hojas

Así como la evolución ha modificado la forma básica de las extremidades de los vertebrados para adaptarla a las exigencias de actividades como correr, nadar y volar, también las fuerzas de la selección natural han alterado las partes de las plantas en respuesta a las demandas ambientales. Quizá te sorprenda saber que muchas estructuras conocidas se derivan de partes insospechadas de una planta.

Algunas raíces especializadas almacenan alimento; otras realizan fotosíntesis

Las raíces quizá hayan sufrido menos modificaciones extrañas de su estructura básica que los tallos o las hojas. Algunas raíces tienen especializaciones extremas para almacenamiento, como la remolacha, la zanahoria o el rábano (**FIGURA 42-25a**). Algunas de las adaptaciones más inusuales de las raíces se presentan en ciertas orquídeas que crecen sobre los árboles. Algunas de esas orquídeas aéreas tienen raíces verdes que efectúan fotosíntesis (**FIGURA 42-25b**).

Algunos tallos especializados producen plantas nuevas, almacenan agua o alimento, o bien, producen espinas o zarcillos

Muchas plantas tienen tallos modificados que desempeñan funciones muy distintas de la función original de levantar hojas hacia la luz. Las fresas, por ejemplo, producen *estolones* o *guías rastreras* que se extienden sobre el suelo; nuevas plantas de fresa brotan donde los nudos tocan el suelo (**FIGURA 42-26a**). El meristemo en los nudos que tocan el suelo forma raíces que permiten a las plantas hijas vivir de forma independiente.

La llamativa forma del baobab (**FIGURA 42-26b**) obedece a que el árbol utiliza su tallo (tronco) como órgano de almacenamiento masivo de agua, lo que le permite prosperar en climas secos. Los cactus dependen de sus tallos para realizar la fotosíntesis y almacenar agua. La papa blanca común es en realidad un tallo subterráneo especializado en almacenar almidón. Cada "ojo" es una yema lateral, lista para enviar hacia arriba una rama —cuando las condiciones se vuelvan favorables— utilizando la energía de su almidón. Por eso, si las papas se guardan durante mucho tiempo en el refrigerador, se pueden observar los brotes de sus ramas. Los lirios tienen tallos subterráneos horizontales para almacenaje llamados rizomas. Los lirios pueden propagarse si se cortan trozos de rizoma; si un trozo con nudo contiene suficiente alimento almacenado, generará una planta completa.

Muchos tallos aéreos producen ramas modificadas con funciones especializadas, que a menudo se agregan a sus ramas "regulares". Algunas de las ramas de la vid y de la enredadera de Boston se han modificado para formar *zarcillos*, los cuales se enredan en árboles, enrejados o edificios para que la planta, que de otro modo estaría tendida en el suelo, tenga mejor acceso a la luz solar (**FIGURA 42-26c**). Una adaptación

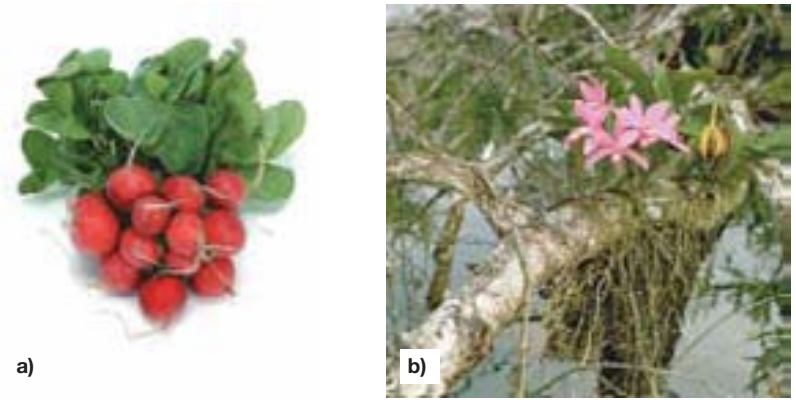


FIGURA 42-25 Adaptaciones de raíces
Raíces primarias de dicotiledóneas modificadas para almacenar nutrimentos incluyen (de izquierda a derecha) betabeles, zanahorias y rábanos. ***b)*** Esta orquídea *Cattleya* (una monocotiledónea) crece en la rama de un árbol en la cuenca del Amazonas; sus raíces aéreas penden de la rama.

a)

b)

c)

d)

FIGURA 42-26 Adaptaciones de los tallos
a) La fresa playera puede reproducirse por estolones, que son tallos horizontales. Si un nudo de un estolón toca el suelo, le brotarán raíces y se convertirá en una planta completa. ***b)*** El tronco enormemente expandido del baobab le permite prosperar en un clima seco. ***c)*** Los zarcillos son tallos especializados que permiten a las vides enredarse en los árboles o en los enrejados. ***d)*** Las acacias de miel se protegen con tallos que forman espinas.

común de las ramas son las *espinas*, como las de la acacia de miel, que generalmente crecen justo encima del sitio de unión de las hojas (**FIGURA 42-26d**). Las espinas punzantes desalientan a los animales de comerse las ramas.

Hojas especializadas conservan y almacenan agua y alimentos e incluso capturan insectos

de una selva tropical tienen abundante agua pero muy poca luz, debido a la espesa sombra de las varias capas de hojas de árboles que hay arriba. Por ello, sus hojas tienden a crecer mucho: una adaptación exigida por el bajo nivel de luz y permitida por la abundante agua.

En el otro extremo, los desiertos reciben abundante luz solar prácticamente todos los días, pero el agua está limitada y la temperatura es muy elevada. Algunas plantas desérticas, llamadas *suculentas*

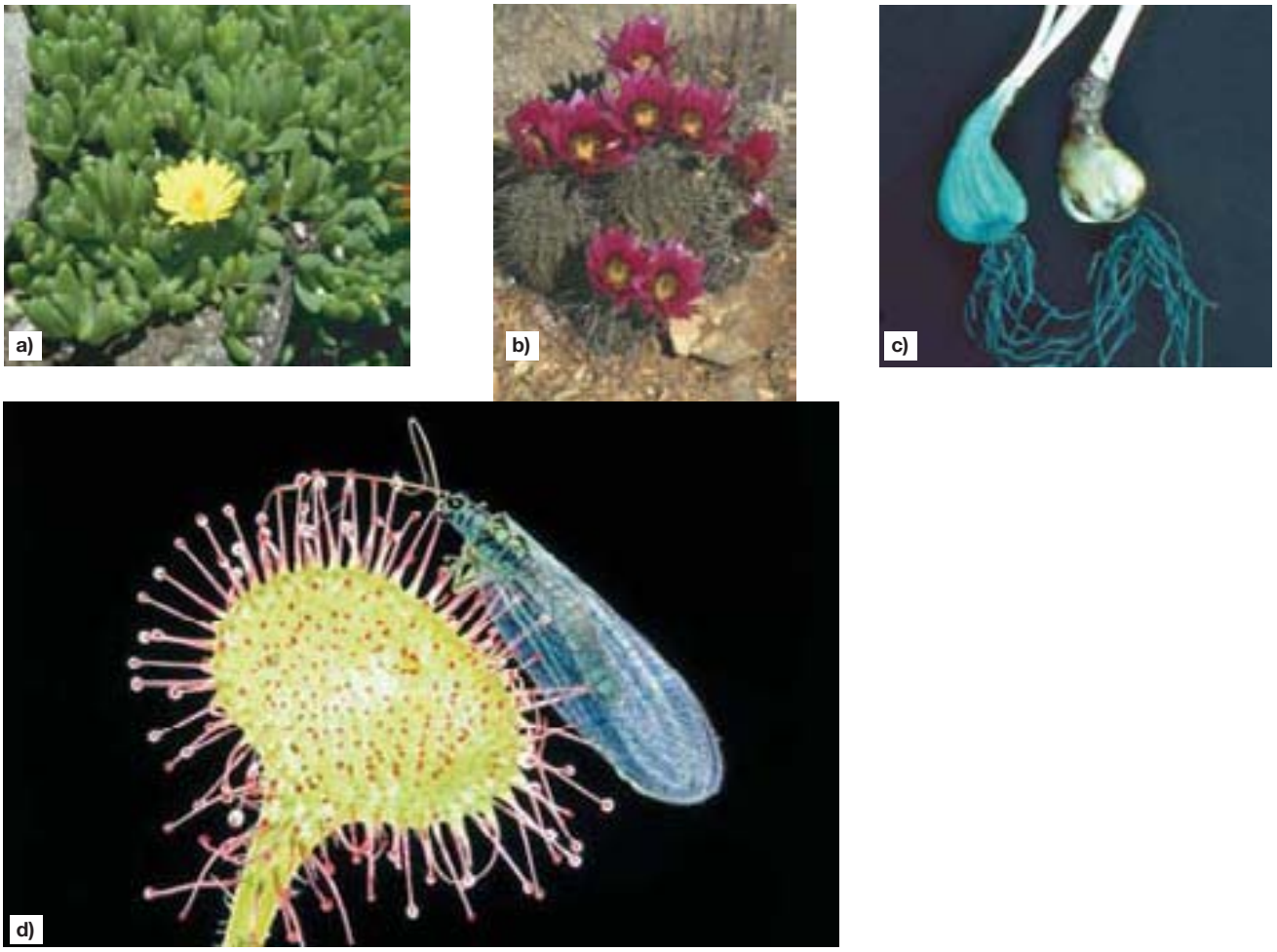


FIGURA 42-27 Algunas adaptaciones de las hojas
a) Las suculentas plantas del desierto tienen hojas carnosas que almacenan agua de las lluvias ocasionales. ***b)*** Las espinas de los cactus del desierto son hojas que no realizan fotosíntesis cuya área superficial se ha reducido al mínimo para disminuir la evaporación y proteger a la planta contra animales depredadores. ***c)*** Los bulbos de narciso consisten en tallos centrales cortos rodeados por gruesas hojas que almacenan agua y alimento. ***d)*** Una drosera, con sus pelos pegajosos repletos de enzimas, atrapa una crisopa de alas de encaje.

ración para los inevitables largos periodos de sequía (**FIGURA 42-27a**). Tales hojas están cubiertas de una gruesa cutícula que reduce considerablemente la evaporación de agua. Los cactus utilizan una estrategia totalmente diferente: reducen las hojas a delgadas espinas que protegen a las plantas contra los herbívoros y casi no dejan área superficial para la evaporación (**FIGURA 42-27b**). En los cactus, la fotosíntesis se efectúa en las células corticales de los verdes tallos que almacenan agua.

El comestible chícharo común, por ejemplo, se sujeta a cercas u otras plantas con zarcillos trepadores. A diferencia de los zarcillos de la vid, que se derivan de ramas, los del chícharo son pequeñas hojas delgadas y flexibles. Algunas plantas, como las cebollas, narcisos y tulipanes, emplean hojas gruesas y carnosas como órganos de almacenamiento. Un bulbo de narciso consiste en un tallo corto rodeado por gruesas hojas que se traslapan y almacenan nutrimentos durante el invierno (**FIGURA 42-27c**). Por último, unas cuantas plantas han invertido los papeles frente a los animales al convertirse en depredadores. Los cuerpos de los insectos, ricos en proteína, son excelentes fuentes de nitrógeno, siempre que puedan ser atrapados y digeridos. Las plantas carnívoras como la atrapamoscas y la drosera (**FIGURA 42-27d**) tienen hojas modificadas que actúan como trampas para atrapar y digerir insectos desprevenidos. Estas hojas han evolucionado en plantas que colonizan suelos pobres en nitrógeno. Los pantanos constituyen un hábitat idóneo para las plantas carnívoras porque el suelo ácido propio de esos lugares es hostil para las bacterias que fijan el nitrógeno.

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO

¿POR QUÉ LAS HOJAS SE TIÑEN DE ROJO EN EL OTOÑO?

A principios del otoño, cuando las temperaturas bajan y aún hay mucha luz disponible, la tasa metabólica de las hojas disminuye, haciéndolas incapaces de utilizar toda la luz que absorben. El exceso de energía lumínica puede dañar los cloroplastos y las células foliares, así como reducir la fotosíntesis. En el laboratorio, Lee y Gould expusieron hojas de cornejo rojas y verdes a luz intensa. Encontraron que las hojas que contenían más pigmento rojo de antocianina estaban mucho mejor protegidas frente a los efectos del exceso de energía lumínica que aquellas que carecían de él. La luz solar intensa que incidía sobre las hojas también causó la producción de radicales libres: moléculas altamente reactivas capaces de dañar los componentes celulares. Ahora los científicos tienen evidencias de que las antocianinas reducen la formación de radicales libres al absorber longitudes de onda de la luz que no se utilizan en la fotosíntesis. Y lo que es más, estas versátiles moléculas rojas actúan como antioxidantes, los cuales reaccionan con cualquier radical libre que se forme para volverlo inofensivo.

Entonces, ¿por qué proteger a una hoja que se está próxima a morir? Porque tanto la clorofila como los carotenoides son ricos en nitrógeno, y la mayor parte del nitrógeno de la planta se encuentra en sus hojas. Para conservar este valioso nutrimento, las plantas perennes recuperan el nitrógeno de las hojas a punto de morir y lo envían a los tejidos leñosos para almacenarlo durante el invierno. Pero esto consume energía que la planta obtiene de la fotosíntesis. Lee y Gould sugieren que, al proteger las hojas durante sus últimos días, la antocianina permite que la planta continúe efectuando la fotosíntesis, tanto tiempo como sea posible, con el fin de obtener la energía necesaria para recuperar el nitrógeno de la clorofila y los carotenoides y utilizarlo en la siguiente primavera.

No todas las hojas se vuelven rojas en el otoño. Por otra parte, las antocianinas probablemente desempeñan varias funciones en las hojas de diferentes especies de plantas. Mientras los científicos investigan con mayor profundidad por qué las hojas se tiñen de rojo, nosotros simplemente nos deleitamos con la variedad de colores otoñales.

Piensa en esto El investigador William Hoch estudió el color rojo de las hojas de 74 especies de plantas nativas de regiones con climas invernales muy fríos (en el norte de Estados Unidos y Canadá), donde las temperaturas descienden en el otoño, y con climas templados (en la costa europea). Encontró que las 41 especies que producían las hojas con un tono rojizo más intenso en otoño eran de plantas que habitaban en los climas más fríos. ¿Qué hipótesis sobre la función de las antocianinas apoya este hecho? ¿Acaso "demuestra" algo?

REPASO DEL CAPÍTULO

RESUMEN DE CONCEPTOS CLAVE

42.1 ¿Cómo está organizado el cuerpo de las plantas y cómo crecen?

El cuerpo de una planta terrestre consta de raíz y vástago. Las raíces normalmente son subterráneas y sus funciones incluyen: anclar la planta en el suelo; absorber agua y minerales del suelo; almacenar productos excedentes de la fotosíntesis; transportar agua, minerales, productos de la fotosíntesis y hormonas; producir algunas hormonas; e interactuar con hongos y microorganismos del suelo que proporcionan nutrimentos. Los vástagos suelen estar sobre el suelo y constan de tallo, hojas, yemas y (en temporada) flores y frutos. Las principales funciones del vástago incluyen: realizar la fotosíntesis, transportar materiales, encargarse de la reproducción de la planta y sintetizar hormonas.

El cuerpo de una planta se compone de dos clases principales de células: meristemáticas y diferenciadas. Las células meristemáticas son células no diferenciadas que aún pueden efectuar división celular mitótica. Las células diferenciadas surgen de divisiones de las células meristemáticas, se especializan para realizar funciones específicas y, por lo regular, no se dividen. Casi todas las células meristemáticas se encuentran en meristemos apicales en las puntas de las raíces y el vástago, así como en meristemos laterales en las paredes de las raíces y el vástago. El crecimiento primario (aumento de longitud y diferenciación de las partes) es resultado de la división y diferenciación de células de los meristemos apicales; el crecimiento secundario (aumento de diámetro) es resultado de la división y diferenciación de células de meristemos laterales.

42.2 ¿Qué tejidos y tipos de células tienen las plantas?

El cuerpo de una planta consta de tres sistemas de tejidos: dérmico, fundamental y vascular. El primero forma la cubierta exterior del cuerpo de la planta; en hojas, raíces y tallos primarios generalmente hay una capa única de células epidérmicas. Después del crecimiento secundario, el tejido dérmico es una cubierta de corcho que tiene varias capas.

El sistema de tejidos fundamentales consiste en varios tipos de células que incluyen el parénquima, el colénquima y el esclerénquima. Casi todos intervienen en funciones de fotosíntesis, sostén o almacenamiento. El tejido fundamental constituye la mayor parte de una planta joven durante el crecimiento primario.

El sistema de tejido vascular consiste en xilema, que transporta agua y minerales de las raíces al vástago, y floema, que transporta agua, azúcares, aminoácidos y hormonas a todo el cuerpo de la planta.

42.3 ¿Cuáles son las estructuras y funciones de las hojas, las raíces y los tallos?

Las hojas son los principales órganos fotosintéticos de las plantas. El limbo de una hoja consiste en una epidermis impermeable que rodea a las células del mesófilo —las cuales contienen cloroplastos y llevan a cabo la fotosíntesis— y haces vasculares de xilema y floema, que transportan agua, minerales y productos de la fotosíntesis entre la hoja y el resto de la planta. La epidermis está perforada por poros ajustables llamados estomas, que regulan el intercambio de gases y agua.

El crecimiento primario de los tallos de dicotiledóneas produce: una estructura que consiste en una epidermis exterior impermeable; células de sostén y fotosintéticas en la corteza bajo la epidermis; tejidos vasculares de xilema y floema; y células de sostén y almacenamiento en la médula ubicada en el centro. Las hojas y yemas laterales se encuentran en nudos en la superficie del tallo. En las condiciones hormonales apropiadas, una yema lateral puede brotar para formar una rama. El crecimiento secundario de los tallos es resultado de divisiones celulares en el cambium vascular y el cambium de corcho. El cambium vascular produce xilema y floema secundarios, e incrementa el diámetro del tallo. El cam-

bium de corcho produce células suberosas impermeables que cubren el exterior del tallo.

El crecimiento primario de las raíces produce una estructura que consta de una epidermis exterior, un cilindro vascular interno de xilema y floema, y una corteza entre los dos. El meristemo apical cerca de la punta de la raíz está protegido por la cofia. Las células de la epidermis de la raíz absorben agua y minerales del suelo. Los pelos radiculares son proyecciones de las células epidérmicas que incrementan el área superficial para la absorción. Casi todas las células corticales almacenan azúcares excedentes (casi siempre en forma de almidón) producidos por la fotosíntesis. La capa más interna de células corticales es la endodermis, que controla el movimiento de agua y minerales del suelo al cilindro vascular.

Web tutorial 42.1 Crecimiento primario y secundario

Web tutorial 42.2 Mecanismos de transporte de las plantas

42.4 ¿Cómo obtienen nutrimentos las plantas?

Casi todos los minerales se toman del agua del suelo por transporte activo en los pelos radiculares. Esos minerales se difunden al interior de la raíz a través de plasmodesmos hasta llegar al periciclo, justo dentro del cilindro vascular. Ahí, se les transporta activamente al espacio extracelular del cilindro vascular, de donde pasan por difusión a las traqueidas y elementos de los vasos del xilema.

Muchas plantas tienen hongos que se asocian a sus raíces; estas asociaciones se conocen como *micorrizas*, las cuales ayudan a las plantas a absorber nutrimentos del suelo. El nitrógeno sólo puede absorberse como amonio o nitrato, formas que son escasas en casi todos los suelos. Las leguminosas han desarrollado una relación de cooperación con bacterias fijadoras de nitrógeno que invaden sus raíces. La planta provee azúcares a las bacterias y éstas utilizan parte de la energía de esos azúcares para convertir nitrógeno atmosférico en amonio, que luego la planta absorbe.

42.5 ¿Cómo transportan las plantas el agua de las raíces a las hojas?

La teoría de cohesión-tensión explica la función del xilema: la cohesión entre las moléculas de agua mediante puentes de hidrógeno mantiene unidas esas moléculas dentro de los tubos del xilema, casi como si fuera una cadena sólida. A medida que se evaporan moléculas de agua de las hojas durante la transpiración, los puentes de hidrógeno tiran de otras moléculas y las suben por el xilema para reponer la pérdida. Este movimiento se transmite por el xilema hasta la raíz, donde la pérdida de agua del cilindro vascular promueve el movimiento de agua del suelo a través de la endodermis por ósmosis.

El agua del suelo dispone de un camino ininterrumpido a través de las paredes celulares porosas de las capas exteriores de la raíz. La banda de Caspari entre las células endodérmicas obliga al agua y los minerales disueltos a moverse a través de membranas celulares determinadas. El agua se mueve por ósmosis a través de las membranas plasmáticas de las células endodérmicas hacia el espacio extracelular del cilindro vascular. El gradiente de presión hidrostática generado por la pérdida de agua por transpiración es la fuerza primaria que introduce agua en la raíz.

42.6 ¿Cómo transportan azúcares las plantas?

La teoría de flujo-presión explica el transporte de azúcar en el floema. Las partes de la planta que sintetizan azúcar (las hojas, por ejemplo) lo exportan al tubo criboso. El aumento en la concentración de azúcar hace que entre agua por ósmosis, lo que eleva la presión hidrostática en el floema. Las partes de la planta que consumen azúcar (los frutos, por ejemplo) reducen la presión hidrostática. El agua y el azúcar disuelto se mueven por flujo en masa dentro de los tubos cribosos, de las zonas de presión alta a las de presión baja.

TÉRMINOS CLAVE

albura *pág. 869*
anillo anual *pág. 869*
bacteria fijadora de nitrógeno *pág. 875*
banda de Caspari *pág. 872*
cambium *pág. 862*
cambium de corcho *pág. 862*
cambium vascular *pág. 868*
célula acompañante *pág. 865*
célula diferenciada *pág. 862*
célula meristemática *pág. 862*
célula oclusiva *pág. 866*
célula suberosa (de corcho) *pág. 862*
cilindro vascular *pág. 873*
cofia *pág. 871*
colénquima *pág. 863*
concavidades *pág. 864*
corcho *pág. 870*
corteza *pág. 870*
crecimiento primario *pág. 862*
crecimiento secundario *pág. 862*
cutícula *pág. 862*
dicotiledónea *pág. 860*
duramen *pág. 869*
elemento de tubo criboso *pág. 864*
elemento del vaso *pág. 864*
endodermis *pág. 872*
entrenudo *pág. 867*
epidermis *pág. 862*
esclerénquima *pág. 864*
estoma *pág. 864*
fijación del nitrógeno *pág. 875*
floema *pág. 864*
flujo en masa *pág. 872*
fuente *pág. 879*
haz vascular *pág. 865*
hoja *pág. 865*
leguminosa *pág. 875*
limbo *pág. 865*
médula *pág. 866*
meristemo apical *pág. 862*
meristemo lateral *pág. 862*
mesófilo *pág. 866*
micorriza *pág. 873*
mineral *pág. 873*
monocotiledónea *pág. 860*
nervadura o vena *pág. 865*
nudo *pág. 867*
nódulo *pág. 875*
nutrimento *pág. 873*
parénquima *pág. 863*
pecíolo *pág. 865*
pelos radiculares *pág. 862*
periciclo *pág. 871*
peridermis *pág. 862*
primordio foliar *pág. 867*
raíz *pág. 860*
raíz primaria *pág. 870*
raíz secundaria *pág. 871*
sistema de raíces *pág. 860*
sistema de raíz fibrosa *pág. 870*
sistema de raíz primaria *pág. 870*
sistema de tejido dérmico *pág. 862*
sistema de tejido fundamental *pág. 862*
sistema de tejido vascular *pág. 862*
sistema de vástago *pág. 861*
sumidero *pág. 879*
tallo *pág. 866*
tejido epidérmico *pág. 862*
teoría de cohesión-tensión *pág. 876*
teoría de flujo-presión *pág. 879*
transpiración *pág. 876*
traqueida *pág. 864*
vaso *pág. 864*
xilema *pág. 864*
yema lateral *pág. 867*
yema terminal *pág. 866*

RAZONAMIENTO DE CONCEPTOS

1. Describe la ubicación y funciones de los tres sistemas de tejidos de las plantas terrestres.
2. Explica la distinción entre crecimiento primario y secundario; describe los tipos de células que intervienen en cada uno.
3. Explica la distinción entre células meristemáticas y diferenciadas.
4. Elabora un diagrama de la estructura interna de una raíz después del crecimiento primario; indica dónde se localizan la epidermis, la corteza, la endodermis, el periciclo, el xilema y el floema; describe la función de cada una de estas partes. ¿Qué tejidos hay en el cilindro vascular?
5. ¿En qué difieren el xilema y el floema?
6. ¿Qué función principal tienen las raíces, los tallos y las hojas?
7. ¿Qué tipos de células forman los pelos radiculares? ¿Cuál es su función?
8. Elabora un diagrama de la estructura interna de las hojas. ¿Qué estructuras regulan la pérdida de agua y la absorción de CO_2 en las hojas?
9. Describe el ciclo diario de la apertura y el cierre de las células oclusivas. ¿Cuáles son las diversas condiciones ambientales implicadas en ese proceso?
10. Una forma mutante de áfido, el "klutzphid", inserta su estilete en los elementos de los vasos del xilema. ¿Qué materiales hay en los líquidos del xilema? ¿Un áfido podría subsistir con esos líquidos? ¿El líquido del xilema podría fluir en el cuerpo del áfido? Explica tus respuestas.

APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Una de las metas más importantes de los botánicos moleculares es insertar los genes para fijación de nitrógeno en cultivos como el maíz y el trigo (véase el capítulo 13). ¿Por qué sería útil la inserción de tales genes? ¿Qué cambios en las prácticas agrícolas serían posibles con esta técnica?
2. El capítulo 2 describe las características inusuales del agua. Comenta varias formas en que la evolución de las plantas vasculares ha recibido gran influencia de las características especiales del agua.
3. Un importante problema ecológico es la desertificación, en la que el pastoreo excesivo de ganado u otros animales reduce demasiado el número de plantas en una región, volviéndola cada vez más seca e inhóspita para sustentar la vida vegetal. Explica este fenómeno con base en lo que sabes acerca de la transpiración de las plantas y la forma como el agua circula en sus cuerpos.
4. Los pastos y las flores silvestres del desierto por lo general forman sistemas de raíz fibrosa, mientras que los arbustos del desierto a menudo forman sistemas de raíces primarias profundas. ¿Qué ventajas crees que tenga cada sistema? ¿Cómo permite cada tipo de raíz sobrevivir en un entorno desértico?
5. Los pastos (monocotiledóneas) forman su meristemo primario cerca de la superficie del suelo, no en las puntas de las ramas como las dicotiledóneas. ¿Cómo permite esto tener un prado y podarlo semanalmente en el verano? ¿Qué sucedería si se tuviera un cultivo de dicotiledóneas y se intentara podarlo?
6. Comenta las estructuras y adaptaciones que podrían darse en las hojas de plantas que viven en un hábitat: *a*) seco y soleado, *b*) húmedo y soleado, *c*) seco y con sombra, y *d*) húmedo y con sombra. ¿En cuál de esos hábitat crees que sería más difícil que una hoja funcionara adecuadamente?
7. Un amigo(a) y tú escriben sus iniciales en un árbol de la universidad a 1.5 metros del suelo; el árbol mide 12 metros de altura. Dentro de 25 años regresas a la universidad, para una reunión de ex alumnos, avergonzado(a) de aquella acción; te preguntas si aún encontrarás el daño que provocaste en ese árbol, que ahora mide 18 metros de altura. ¿A qué distancia del suelo estarán las iniciales? Explica tu respuesta.

PARA MAYOR INFORMACIÓN

Baskin, Y. "Forests in the Gas". *Discover*, octubre de 1994. Conforme aumenta el dióxido de carbono en la atmósfera, las relaciones de las plantas se verán alteradas.

Lee, D. W. y Gould, K. S. "Why Leaves Turn Red". *American Scientist*, noviembre-diciembre de 2002. Los investigadores describen los estudios que condujeron a la hipótesis de que los pigmentos rojos protegen a las hojas próximas a morir, para ayudar a la planta a conservar valiosos nutrimentos.

Milius, S. "Why Turn Red?". *Science News*, 16 de octubre de 2002. ¿Por qué las hojas a punto de caer invierten energía en sintetizar un nuevo pigmento rojo?

Perkins, S. "Lowland Tree Loss Threatens Cloud Forests". *Science News*, 20 de octubre de 2001. El bosque neblinoso de Monteverde, Costa Rica, depende de la casi permanente capa de nubes. Esta condición ahora se ve amenazada por la deforestación de los árboles de las tierras bajas, cuya transpiración humidifica el aire.

Zimmer, C. "The Web Below". *Discover*, noviembre de 1997. Una red subterránea de micorrizas transfiere nutrimentos entre los árboles y ayuda a conservar la salud de los bosques.

CAPÍTULO 43

Reproducción y desarrollo de las plantas

La *Amorphophallus titanium*, también conocida como "flor cadáver", pudo florecer en Estados Unidos. La proyección central, llamada *espádice*, a menudo mide 1.80 metros de altura y está llena de pequeñas flores masculinas y femeninas.

DE UN VISTAZO

ESTUDIO DE CASO: ¿Hermoso? Sí, pero ¿caliente?

43.1 ¿Cuáles son las características fundamentales de los ciclos de vida de las plantas?
- Las plantas participan en el sexo
- La alternancia de generaciones es evidente en los helechos y los musgos

43.2 ¿Cómo se adapta la reproducción en las plantas con semilla a los ambientes secos?

43.3 ¿Cuál es la función y la estructura de las flores?
- La mayoría de las flores atraen a los animales que las polinizan

Guardián de la salud: ¿Eres alérgico al polen?
- Las flores son las estructuras reproductoras de las angiospermas
- Las flores completas tienen cuatro partes principales
- El polen contiene el gametofito masculino
- El gametofito femenino se forma dentro del óvulo del ovario
- La polinización de la flor permite la fecundación

43.4 ¿Cómo se desarrollan los frutos y las semillas?
- El fruto se desarrolla a partir del ovario
- La semilla se desarrolla a partir del óvulo

Guardián de la Tierra: Dodós, murciélagos y ecosistemas perturbados

43.5 ¿Cómo germinan y crecen las semillas?
- El estado de latencia de las semillas ayuda a asegurar la germinación en el momento apropiado
- En la germinación, la raíz surge primero, seguida del vástago
- Los cotiledones nutren a la semilla germinada

43.6 ¿Cuáles son algunas adaptaciones para la polinización y la dispersión de semillas?
- La coevolución pone en contacto a plantas y polinizadores
- Los frutos ayudan a dispersar las semillas

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO ¿Hermoso? Sí, pero ¿caliente?

ESTUDIO DE CASO ¿HERMOSO? SÍ, PERO ¿CALIENTE?

ROGER SEYMOUR, investigador de la Universidad de Adelaide, Australia, recuerda que vio por primera vez las "plantas calientes" cuando un amigo llevó una flor de filodendro (en realidad un denso racimo de pequeñas flores) a una fiesta donde todos los asistentes notaron su parecido con la forma y calidez de una mama. En la década de 1970 Seymour y sus colaboradores reportaron que, al igual que una mama, las flores del árbol de filodendro mantienen una temperatura relativamente constante de unos 35°C, incluso en medio de temperaturas de congelamiento. De hecho, sus enormes flores generan cinco veces más calor que una mama de un tamaño similar. Recientemente, luego de introducir un termómetro del grueso de un cabello en flores de loto sagrado de Asia (*Nelumbo nucifera*, **FIGURA 43-1**), Seymour descubrió que éstas también mantienen una temperatura de unos 32°C, incluso cuando la temperatura en el exterior ronda los 40°C. Las flores cálidas se conocen desde hace 200 años, cuando el naturalista francés Jean-Baptiste Lamarck describió por primera vez las flores pertenecientes a la familia Arum, que se calientan a sí mismas. Este grupo incluye la flor con el apropiado nombre de "caballo muerto", cuya calidez dispersa su olor de carne en descomposición. El olor fétido atrae a las moscas azules, que con gran entusiasmo entran en las flores, al confundirlas con carne descompuesta a la que consideran un manjar. La cálida flor de la col fétida del Oriente (*Symplocarpus foetidus*), otro miembro de la familia Arum, en ocasiones florece dentro de bancos de nieve, donde su calor forma pequeños huecos (véase la figura 43-18). Una de las flores más espectaculares del mundo, la "flor cadáver" (también de la familia Arum), llega a medir hasta tres metros de altura. Irradia calor y un olor fétido que atrae a los escarabajos carroñeros de su nativa Sumatra. En Estados Unidos, donde sólo ha florecido una docena de estos ejemplares, las flores cadáver atraen a miles de visitantes (véase la fotografía al inicio del capítulo). Uno de tales ejemplares prosperó en el invernadero de la Universidad de Washington, donde el administrador, Douglas Ewing, logró cultivar esta increíble planta a partir de una semilla. El olor fétido —dijo entusiasmado como si fuera un padre debutante— "significa que está haciendo lo que le resulta natural, y espero que continúe así hasta sacarnos de aquí". ¿Por qué algunas flores imitan la apariencia y la calidez de un cuerpo en descomposición?

FIGURA 43-1 Flor de loto sagrado de Asia

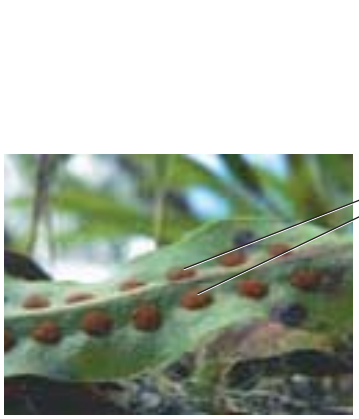
43.1 ¿CUÁLES SON LAS CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LOS CICLOS DE VIDA DE LAS PLANTAS?

Las plantas participan en el sexo

Muchas plantas se pueden reproducir de forma sexual o asexual. En la reproducción asexual, una parte de una planta (por ejemplo, un tallo) da origen a una nueva planta mediante la división celular por mitosis. La descendencia resultante de la reproducción asexual es genéticamente idéntica al progenitor. En el capítulo 42 se mencionaron varios métodos de reproducción asexual, como los estolones de las fresas, los bulbos de los narcisos y los rizomas de los lirios. La reproducción asexual suele ser muy eficaz y permite a las plantas colonizar toda una zona en la que la planta original encontró condiciones óptimas.

No obstante, si la descendencia es genéticamente idéntica a la progenitora, estará tan bien adaptada al ambiente como ella. ¿Y si el entorno cambia? Casi toda la descendencia producida sexualmente combina genes de ambos progenitores y, por consiguiente, tiene rasgos que difieren de los que caracterizan a éstos. La nueva combinación de características podría ayudar a la descendencia a enfrentar entornos cambiantes o a sobrevivir en lugares ligeramente distintos. Por ello, casi todos los organismos, entre ellos las plantas, se reproducen sexualmente, al menos una parte del tiempo.

Ahora que ya estás familiarizado con el fenómeno de reproducción sexual en los animales, ¿cómo se compara la reproducción de las plantas? Durante el ciclo de vida animal, los individuos con células diploides (*2n*) producen gametos haploides (*n*) (espermatozoides u óvulos) mediante meiosis (seguida de división citoplásmica). Los núcleos de los gametos (un espermatozoide y un óvulo) se fusionan para formar una nueva célula diploide (el *cigoto*) que, al desarrollarse, se convierte en el organismo adulto mediante continuas divisiones celulares por mitosis (seguidas de división citoplásmica). Sin embargo, el ciclo de vida de las plantas es un poco más complejo. Las plantas tienen dos formas multicelulares distintas, una diploide y una haploide, que dan origen una a la otra.



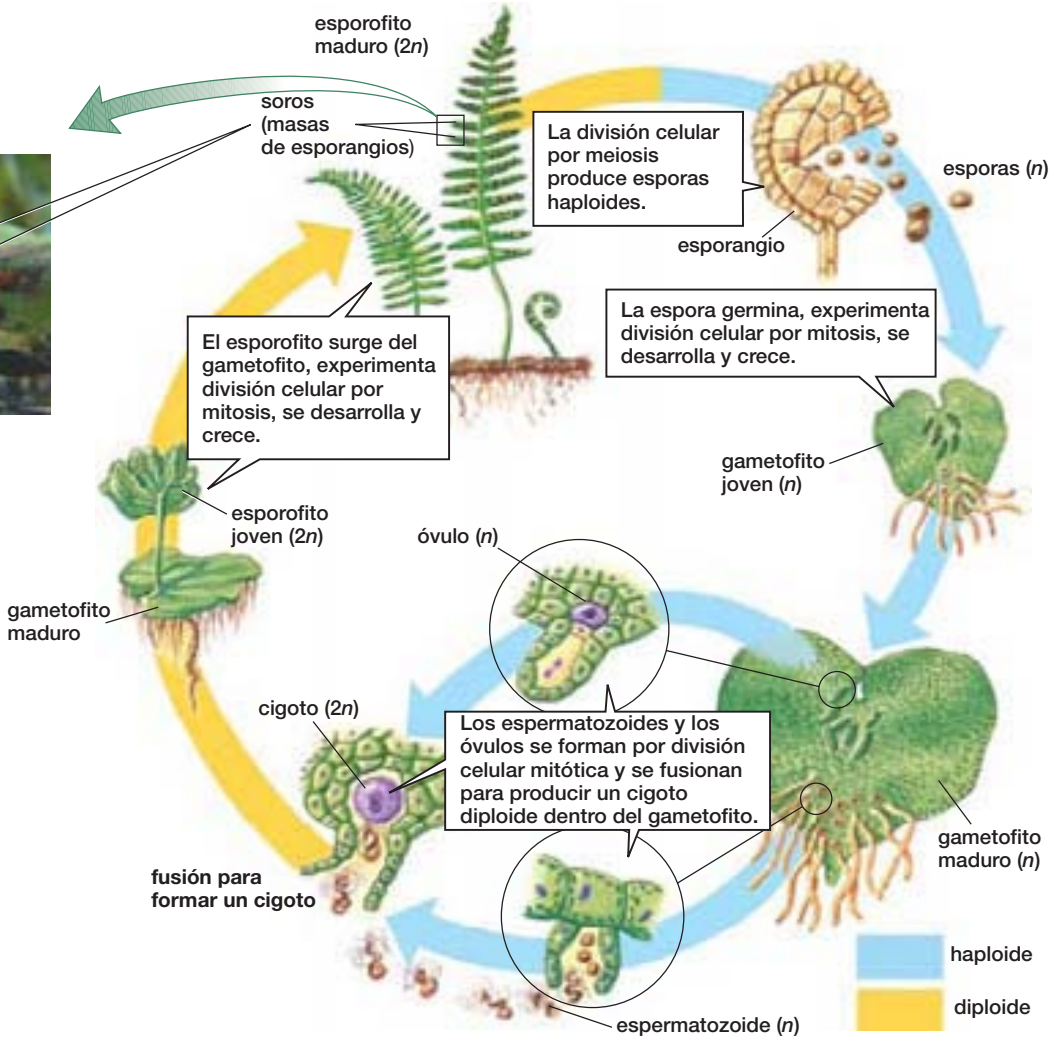

esporofito maduro (2n)
soros (masas de esporangios)
La división celular por meiosis produce esporas haploides.
esporas (n)
esporangio
La espora germina, experimenta división celular por mitosis, se desarrolla y crece.
El esporofito surge del gametofito, experimenta división celular por mitosis, se desarrolla y crece.
gametofito joven (n)
esporofito joven (2n)
óvulo (n)
gametofito maduro
cigoto (2n)
Los espermatozoides y los óvulos se forman por división celular mitótica y se fusionan para producir un cigoto diploide dentro del gametofito.
gametofito maduro (n)
fusión para formar un cigoto
haploide
diploide
espermatozoide (n)

FIGURA 43-2 Ciclo de vida de un helecho: una planta sin flores
Los helechos ilustran el ciclo de vida de alternancia de generaciones que se observa en todas las plantas. Organismos multicelulares haploides y diploides distintos existen en diferentes partes del ciclo de vida. La letra *n* se refiere al estado haploide y 2*n*, al estado diploide. Al encontrar un helecho, a menudo se distinguen cúmulos de esporangios de color café en el envés o cara inferior de las hojas (fotografía).

Por ello, decimos que el ciclo de vida de las plantas es una **alternancia de generaciones**: plantas diploides (llamadas *esporofitos*) se alternan con plantas haploides (llamadas *gametofitos*).

La alternancia de generaciones es evidente en los helechos y los musgos

La alternancia de generaciones se presenta en todas las plantas. En las plantas terrestres primitivas, entre ellas los musgos y los helechos, las generaciones que se alternan son fácilmente distinguibles porque el gametofito es una planta independiente. En los helechos es de menor tamaño que el esporofito, mientras que en los musgos el gametofito es mucho más grande (véase el capítulo 21, figura 21-4). Como vimos en el capítulo 21, estas plantas no producen flores. El gametofito libera espermatozoides móviles que llegan al óvulo, ya sea nadando a través de delgadas películas de agua que cubren a los gametofitos adyacentes, o bien, luego de ser lanzados junto con gotas de lluvia de una planta a la siguiente. Por esa razón, los helechos y los musgos sólo pueden reproducirse en medios húmedos.

Para ilustrar la alternancia de generaciones, examinemos el ciclo de vida de un helecho, partiendo de la forma diploide adulta (**FIGURA 43-2**). Esta etapa del ciclo de vida, el **esporofito** ("planta de esporas", en griego) produce células reproductoras, las cuales se dividen por meiosis para producir células haploides. Estas células reproductoras son **esporas**, no gametos. A diferencia de los gametos, las esporas no se fusionan para formar una célula diploide. Más bien, la espora es transportada hacia el suelo por el viento o el agua. Ahí, la espora **germina** (comienza a crecer y desarrollarse), dividiéndose una y otra vez por mitosis hasta formar un organismo multicelular haploide. Este organismo produce gametos, por lo que se le llama **gametofito** ("planta de gametos", en griego). Puesto que sus células son haploides, el gametofito puede producir espermatozoides y óvulos sin necesidad de meiosis. Por lo regular, un solo gametofito produce tanto espermatozoides como óvulos, pero suele hacerlo en épocas diferentes, con lo que se evita la autofecundación. Los espermatozoides y los óvulos se fusionan para formar un **cigoto** que, al desarrollarse, produce una nueva planta esporofita diploide.

43.2 ¿CÓMO SE ADAPTA LA REPRODUCCIÓN EN LAS PLANTAS CON SEMILLA A LOS AMBIENTES SECOS?

Muchos ambientes terrestres son relativamente secos, de manera que los espermatozoides no tienen oportunidad de nadar hacia los óvulos. El espermatozoide, el óvulo, el cigoto que se forma cuando se unen y el embrión que se desarrolla a partir del cigoto deben mantenerse húmedos para sobrevivir. Las plantas con semilla (tanto las que tienen flores como las que carecen de ellas) han tenido éxito en colonizar los medios terrestres secos. Durante la evolución, sus gametofitos masculinos y femeninos se volvieron de tamaño microscópico. Un gametofito masculino rodeado por un recubrimiento protector se llama **grano de polen**

FIGURA 43-3 Las coníferas se polinizan gracias al viento
Hasta las brisas más suaves sacan espesas nubes de polen de los conos masculinos maduros. Esos "conos blandos" pueden verse en racimos cerca de las puntas de las ramas de los pinos, piceas y abetos, sobre todo a fines de la primavera. Los conos se desintegran después de soltar su polen. Los conos leñosos y más grandes son femeninos; producen semillas en la base de cada escama. PREGUNTA: En comparación con las plantas con flor polinizadas por los animales, ¿de qué ventajas gozan las plantas polinizadas por el viento? ¿Qué desventajas enfrentan?

te al óvulo, como se describirá más adelante. El óvulo fecundado queda envuelto en una semilla resistente a la sequía. La **semilla**, que incluye una planta embrionaria y una reserva alimenticia dentro de una cubierta protectora externa, podría mantenerse en estado de latencia (o reposo) durante meses o años, en espera de condiciones favorables para su germinación y crecimiento.

Las primeras plantas de semilla fueron las gimnospermas, representadas en la actualidad principalmente por las coníferas, grupo que incluye a los pinos, abetos y piceas. Como vimos en el capítulo 21, las coníferas no producen flores; en vez de ello, llevan gametofitos masculinos y femeninos en distintas estructuras reproductoras, llamadas *conos*. A principios de la primavera, los pequeños conos masculinos sueltan millones de granos de polen que son transportados grandes distancias por el viento (**FIGURA 43-3**). Hay tantos granos flotando en el aire que algunos entran, al azar, en las cámaras del polen situadas en las escamas de los conos femeninos, donde son capturados por recubrimientos pegajosos de azúcares y resinas. Luego, de los granos de polen salen estructuras tubulares que forman un túnel hasta los gametofitos femeninos que están en la base de cada una de las *escamas* (las placas leñosas que forman el cono). Los espermatozoides viajan a través de los tubos de polen y fecundan a los óvulos dentro del gametofito femenino, para formar un cigoto diploide del cual nace una nueva generación. El ciclo de vida de una conífera (un pino) se ilustra en la figura 21-9 del capítulo 21.

43.3 ¿CUÁL ES LA FUNCIÓN Y LA ESTRUCTURA DE LAS FLORES?

La mayoría de las flores atraen a los animales que las polinizan

GUARDIÁN DE LA SALUD ¿Eres alérgico al polen?

La polinización por el viento tiene éxito sólo si las plantas liberan enormes cantidades de polen al aire. Por desgracia para quienes sufren de alergias, es fácil inhalar estos gametofitos masculinos microscópicos. Las proteínas en el recubrimiento del polen activan los sistemas inmunitarios de individuos sensibles, lo que les provoca ojos irritados y llorosos, flujo nasal, ardor en la garganta, tos y estornudos. Si eres de estas infortunadas personas, tu sistema inmunitario provoca todos estos síntomas en un intento por librarte del inofensivo polen, al que confunde con organismos patógenos. La gente que padece "fiebre del heno", por lo general, es sensible sólo a tipos específicos de polen. En climas templados, durante la primavera, se manifiestan las alergias al polen de los árboles, mientras que durante el verano se hacen presentes las alergias provocadas por los pastos. Sin embargo, en Estados Unidos la principal causa de la fiebre del heno no es el heno, sino las ambrosías, flores que liberan su polen al final del verano y durante el otoño (**FIGURA E43-1**). Las flores de las ambrosías, al igual que las de la mayoría de las plantas que se polinizan con la ayuda del viento, pasan inadvertidas porque no están adaptadas para atraer a los animales polinizadores. Una sola planta puede liberar hasta un millón de granos de polen al día; se estima que, en conjunto, las ambrosías liberan 100 millones de toneladas de polen en Estados Unidos cada año. Se ha encontrado polen de ambrosías a más de 600 kilómetros mar adentro y también en la atmósfera, a distancias tan altas como 3 kilómetros. El pequeño tamaño y las grandes cantidades de los granos de polen de las ambrosías, así como el tipo de proteínas en su cubierta protectora, hacen de ellos una amenaza importante para quienes sufren de alergias.

FIGURA E43-1 Las insignificantes flores de las ambrosías y sus granos de polen

Las plantas polinizadas por las abejas y otros animales rara vez provocan alergias, porque sus granos de polen son pegajosos y se producen en pequeñas cantidades. Con frecuencia se ha hecho responsable a la planta llamada vara de San José, que es de un color amarillo intenso y florece durante la misma temporada que las ambrosías, de las alergias que en realidad provoca el polen de estas últimas. De hecho, las flores amarillas de la vara de San José atraen a las abejas y mariposas que sirven de polinizadores, y casi todas las personas pueden disfrutar de ellas sin sufrir molestias (**FIGURA E43-2**).

FIGURA E43-2 La vara de San José

voreados de polen por todo el cuerpo. Si el mismo escarabajo visitaba una planta y come polen y luego se dirigía a otra planta de la misma especie para tomar secreciones azucaradas de los conos femeninos, es muy probable que un poco del polen suelto se embarrara en el cono femenino. De esta forma, el escenario estuvo listo para la evolución de las plantas con flores.

Para que la polinización por insectos sea eficiente, es necesario que un mismo insecto visite varias plantas de la misma especie y las polinice en su camino. Para las plantas, dos adaptaciones clave eran necesarias. Primera, se debía producir suficiente polen o néctar (un líquido azucarado) dentro de las estructuras reproductoras para que los insectos las visitaran con regularidad en busca de alimento. Segunda, había que anunciar a los insectos la ubicación y riqueza de estas fuentes de polen y néctar, tanto para indicarles a dónde ir como para animarlos a especializarse en esa especie de planta en particular. Cualquier mutación que contribuyera a tales adaptaciones mejoraría el éxito reproductivo de la planta y la selección natural la favorecería. Hace unos 130 millones de años, la evolución produjo flores precisamente con esas adaptaciones. Las ventajas de las flores son tan grandes que las plantas con flor o *angiospermas*, dominan en las zonas *templadas*

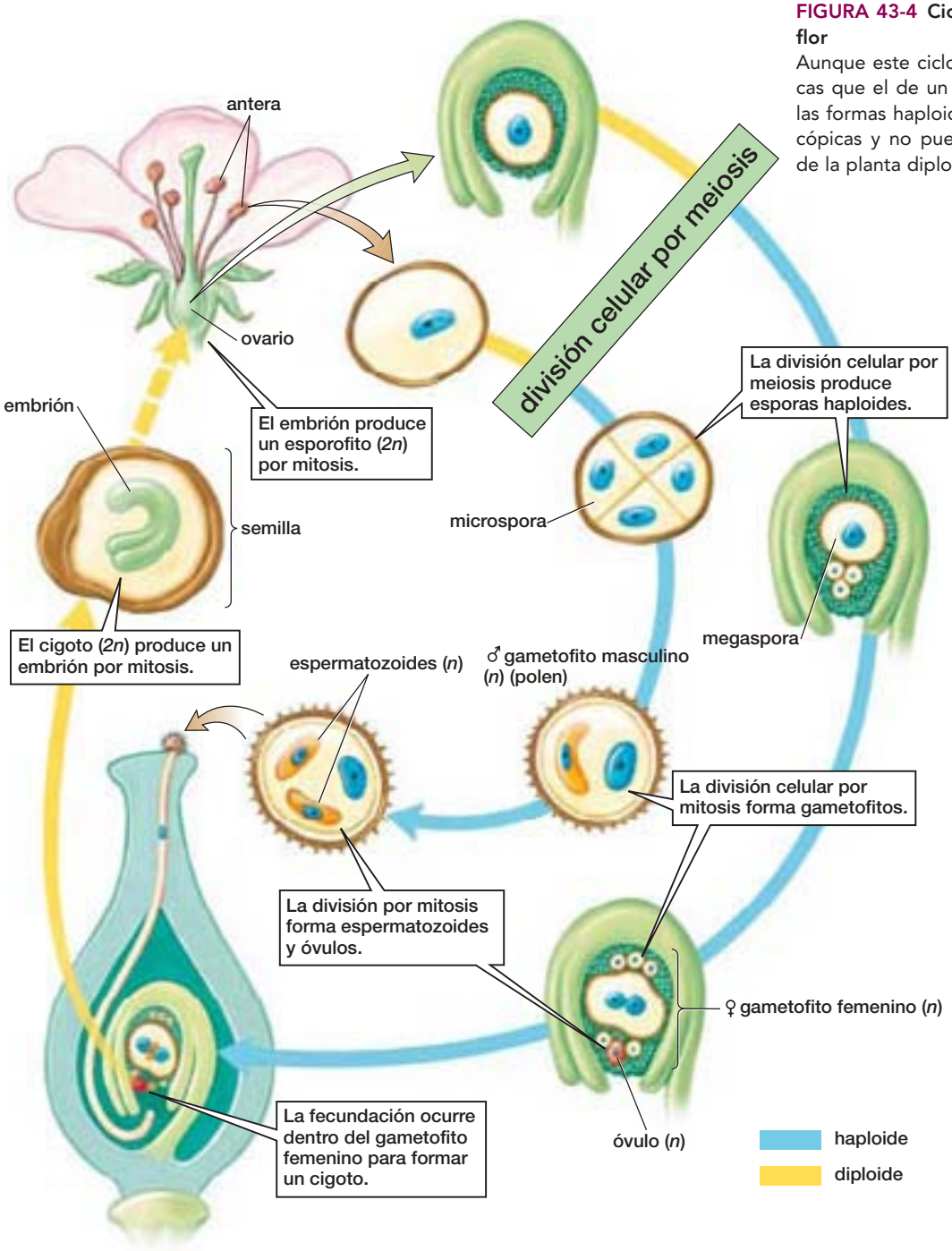


FIGURA 43-4 Ciclo de vida de una planta con flor
Aunque este ciclo tiene las mismas etapas básicas que el de un helecho (véase la figura 43-2), las formas haploides del gametofito son microscópicas y no pueden vivir independientemente de la planta diploide.

flores son polinizadas por animales como abejas, polillas, mariposas, colibríes, algunos mamíferos y escarabajos (como se describe en el estudio de caso). Aunque las flores no evolucionaron para atraer a la gente, por razones aún desconocidas a menudo respondemos con placer a sus aromas, formas y colores.

Las flores son las estructuras reproductoras de las angiospermas

Las **flores** son las estructuras reproductoras de las angiospermas, producidas por la generación esporofita. Dentro de las flores se forman dos tipos de esporas por división celular meiótica (FIGURA 43-4

tan una existencia independiente. El tipo más grande de espora, la *megaspora* (en griego, "mega" significa grande), experimenta unas cuantas divisiones por mitosis y se desarrolla como el gametofito femenino, un pequeño cúmulo de células conservadas de manera permanente dentro de la flor. El otro tipo de espora, la *microspora*

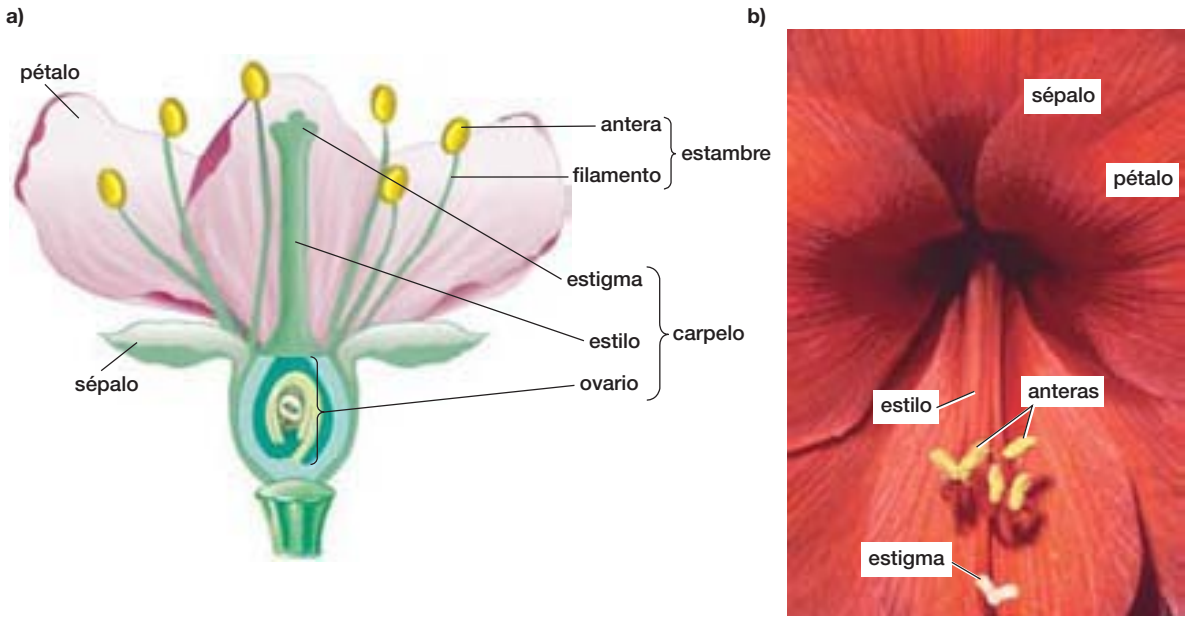


FIGURA 43-5 Una flor completa

Una flor completa tiene cuatro partes: sépalos, pétalos, estambres (las estructuras reproductoras masculinas) y por lo menos un carpelo (la estructura reproductora femenina). Este dibujo muestra una flor completa de dicotiledónea. ***b)*** La azucena es una flor completa de monocotiledónea, con tres sépalos (prácticamente idénticos a los pétalos), tres pétalos, seis estambres y tres carpelos (fusionados en una sola estructura). Las anteras se encuentran en un nivel más bajo que el estigma, probablemente para evitar la autopolinización.

se encuentra en el interior. El espermatozoide baja por ese tubo y entra en el gametofito femenino, donde ocurre la fecundación. En los siguientes apartados exploraremos los detalles de la reproducción sexual en las plantas con flor.

Las flores completas tienen cuatro partes principales

La evolución suele producir nuevas estructuras, modificando estructuras anteriores; en realidad las partes de las flores son hojas muy modificadas, moldeadas por la mutación y la selección natural hasta adquirir una forma que promueve la polinización. Una **flor completa**, como las de las petunias, rosas y azucenas, consiste en un eje central al cual están unidos cuatro juegos sucesivos de hojas modificadas (**FIGURA 43-5**). Estas hojas modificadas forman los *sépalos, pétalos, estambres* y *carpelos.* Los **sépalos** están en la base de la flor. En las dicotiledóneas, los sépalos suelen ser verdes y tienen aspecto de hoja (figura 43-5a); en las monocotiledóneas, casi todos los sépalos se parecen a los pétalos (figura 43-5b). En ambos casos, los sépalos rodean y protegen al capullo de la flor mientras se desarrollan las otras tres estructuras. Justo arriba de los sépalos están los **pétalos**, que suelen tener colores brillantes y perfume para anunciar la ubicación de la flor.

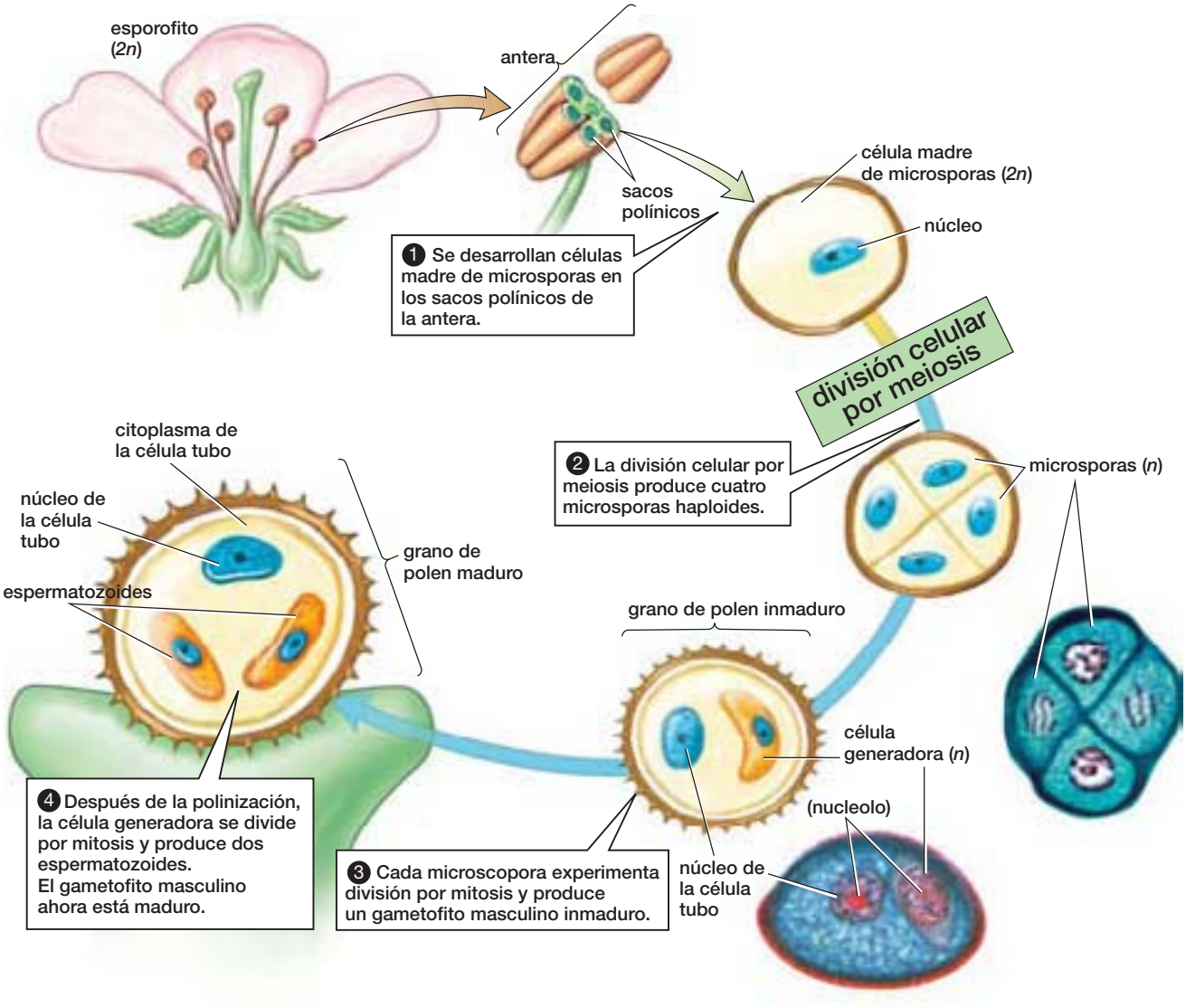
Las estructuras reproductoras masculinas, los **estambres**, están sujetos inmediatamente arriba de los pétalos. Casi todos los estambres consisten en un **filamento** largo y delgado que sostiene una **antera**, la estructura que produce polen. Las estructuras reproductoras femeninas, los **carpelos**, ocupan la posición central en la flor. Un carpelo comúnmente tiene forma aproximada de jarrón, con un **estigma** pegajoso para atrapar polen montado sobre un **estilo** alargado. El estilo conecta al estigma con el **ovario**, que es bulboso (figura 43-5a). Dentro del ovario hay uno o más **óvulos** que el ovario formará una envoltura protectora, adhesiva y/o comestible, el **fruto**.

Las **flores incompletas** carecen de una o más de las cuatro partes florales. Por ejemplo, las flores de los pastos (véase la figura 43-9) carecen tanto de pétalos como de sépalos. Otras flores incompletas carecen ya sea de los estambres masculinos o de los carpelos femeninos. En tales casos, las flores se consideran *imperfectas*, además de incompletas. Éste no es un juicio de valor; las especies de plantas con flores imperfectas subsisten con mucho éxito. Producen flores masculinas y femeninas por separado, algunas veces en la misma planta, como sucede con la familia de las calabazas, en especial con las calabacitas (**FIGURA 43-6**), o con la "flor cadáver" y el filodendro. Estas dos últimas flores contienen una estructura central alargada, llamada *espádice*, que aloja muchas flores pequeñas masculinas y femeninas. Otras plantas con flores imperfectas generan flores masculinas y femeninas en plantas separadas. Un ejemplo es el acebo americano, cuyas bayas de color rojo se producen sólo en las plantas femeninas.

El polen contiene el gametofito masculino

El polen se desarrolla dentro de la antera de la planta esporofita. Cada antera consta de cuatro cámaras llamadas sacos polínicos (**FIGURA 43-7**). Dentro de cada saco se desarrollan de cientos a miles de **células madre de microsporas**, que son diploides. Cada una de esas células se divide por meiosis (descrita en el capítulo 11) para producir cuatro **microsporas** haploides. Cada microspora se divide una vez, por mitosis, para producir un gametofito masculino haploide. En muchas especies, el gametofito masculino inmaduro consta de sólo dos células: una **célula tubo** grande y una **célula generadora**

FIGURA 43-6 Flores masculinas y femeninas
Las plantas de la familia de las calabazas, como las calabacitas, producen flores femeninas (izquierda) y masculinas (derecha) distintas. Cada planta produce inicialmente sólo flores masculinas, con lo cual se garantiza cierta polinización cruzada entre plantas que florecen de manera ligeramente desfasada. Las calabacitas sólo son producidas por las flores femeninas. PREGUNTA: En las especies con flores masculinas y femeninas separadas, pero en la misma planta, ¿por qué la selección natural favorece a los individuos cuyas flores masculinas y femeninas florecen en diferentes momentos?


esporofito (2n)
antera
sacos polínicos
célula madre de microsporas (2n)
núcleo
1 Se desarrollan células madre de microsporas en los sacos polínicos de la antera.
división celular por meiosis
2 La división celular por meiosis produce cuatro microsporas haploides.
microsporas (n)
citoplasma de la célula tubo
núcleo de la célula tubo
espermatozoides
grano de polen maduro
grano de polen inmaduro
célula generadora (n)
(nucleolo)
núcleo de la célula tubo
3 Cada microscopora experimenta división por mitosis y produce un gametofito masculino inmaduro.
4 Después de la polinización, la célula generadora se divide por mitosis y produce dos espermatozoides. El gametofito masculino ahora está maduro.

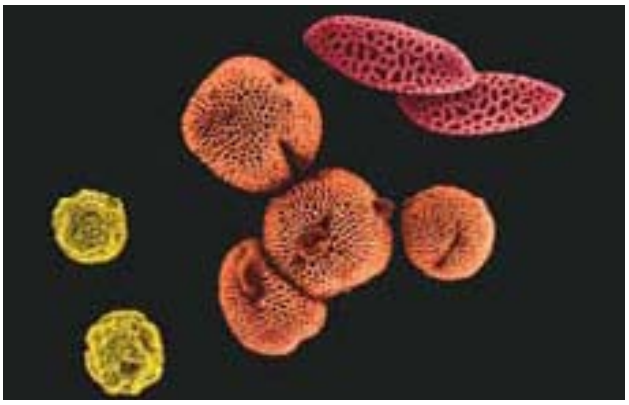
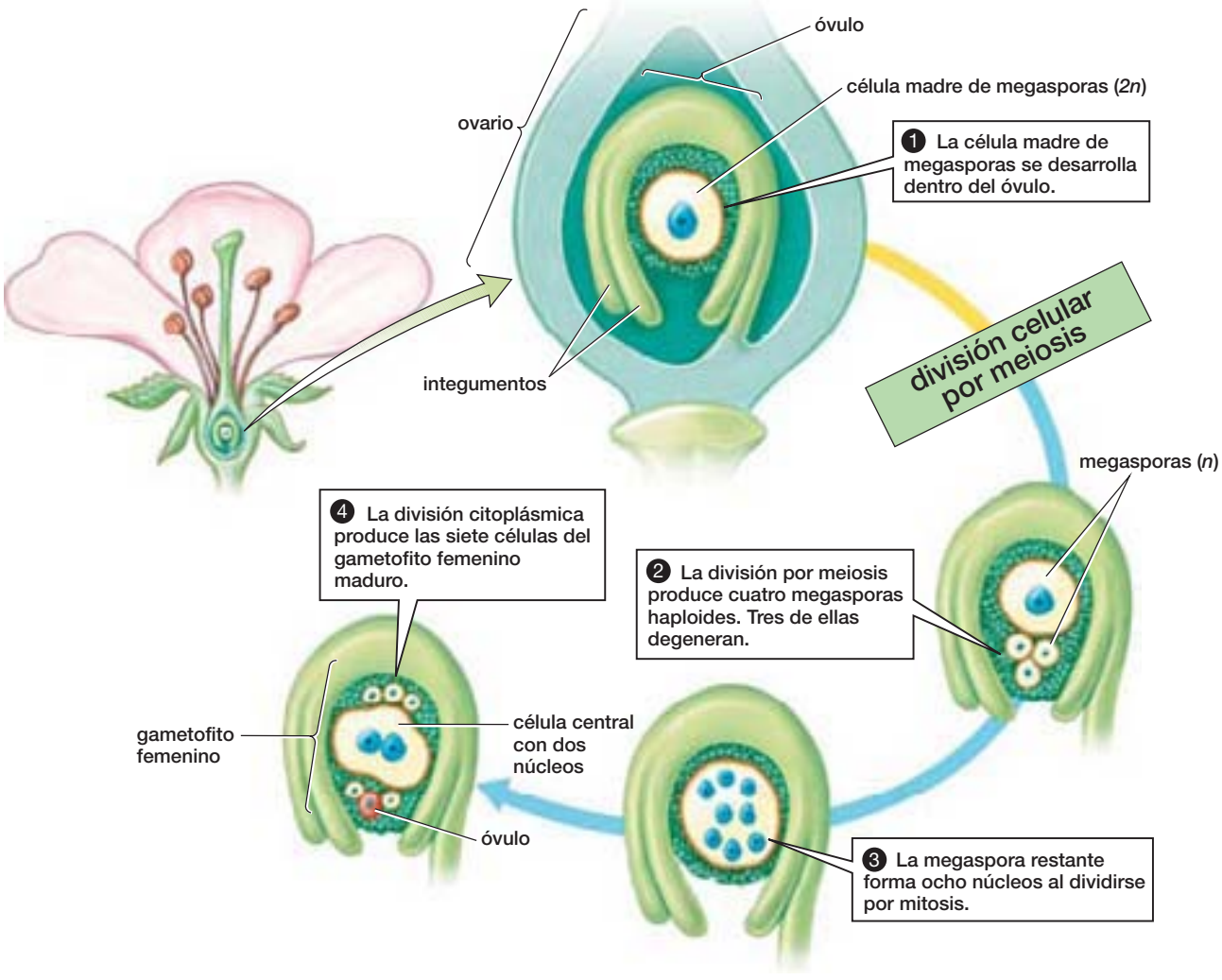


FIGURA 43-8 Granos de polen
La resistente cubierta exterior de muchos granos de polen adopta complejas formas y patrones que son específicos para cada especie. Los granos de color intensificado de esta fotografía por microscopio electrónico de barrido son de un geranio (anaranjados), una azucena tigre (rojo) y un diente de león (amarillo).

FIGURA 43-9 Flor polinizada por el viento
Las flores de los pastos y muchos árboles caducifolios son polinizados por el viento y tienen las anteras (estructuras amarillas que cuelgan bajo las flores) expuestas al aire. Los pétalos suelen ser muy pequeños, si acaso existen.

Conforme el grano de polen madura, la célula generadora se divide por mitosis para producir dos espermatozoides haploides (figura 43-7). Se desarrolla una cubierta resistente en torno al grano de polen, a menudo con un patrón de cavidades y protuberancias características de cada especie vegetal (**FIGU-**


óvulo
ovario
célula madre de megasporas (2n)
1 La célula madre de megasporas se desarrolla dentro del óvulo.
integumentos
división celular por meiosis
megasporas (n)
4 La división citoplásmica produce las siete células del gametofito femenino maduro.
2 La división por meiosis produce cuatro megasporas haploides. Tres de ellas degeneran.
gametofito femenino
célula central con dos núcleos
óvulo
3 La megaspora restante forma ocho núcleos al dividirse por mitosis.

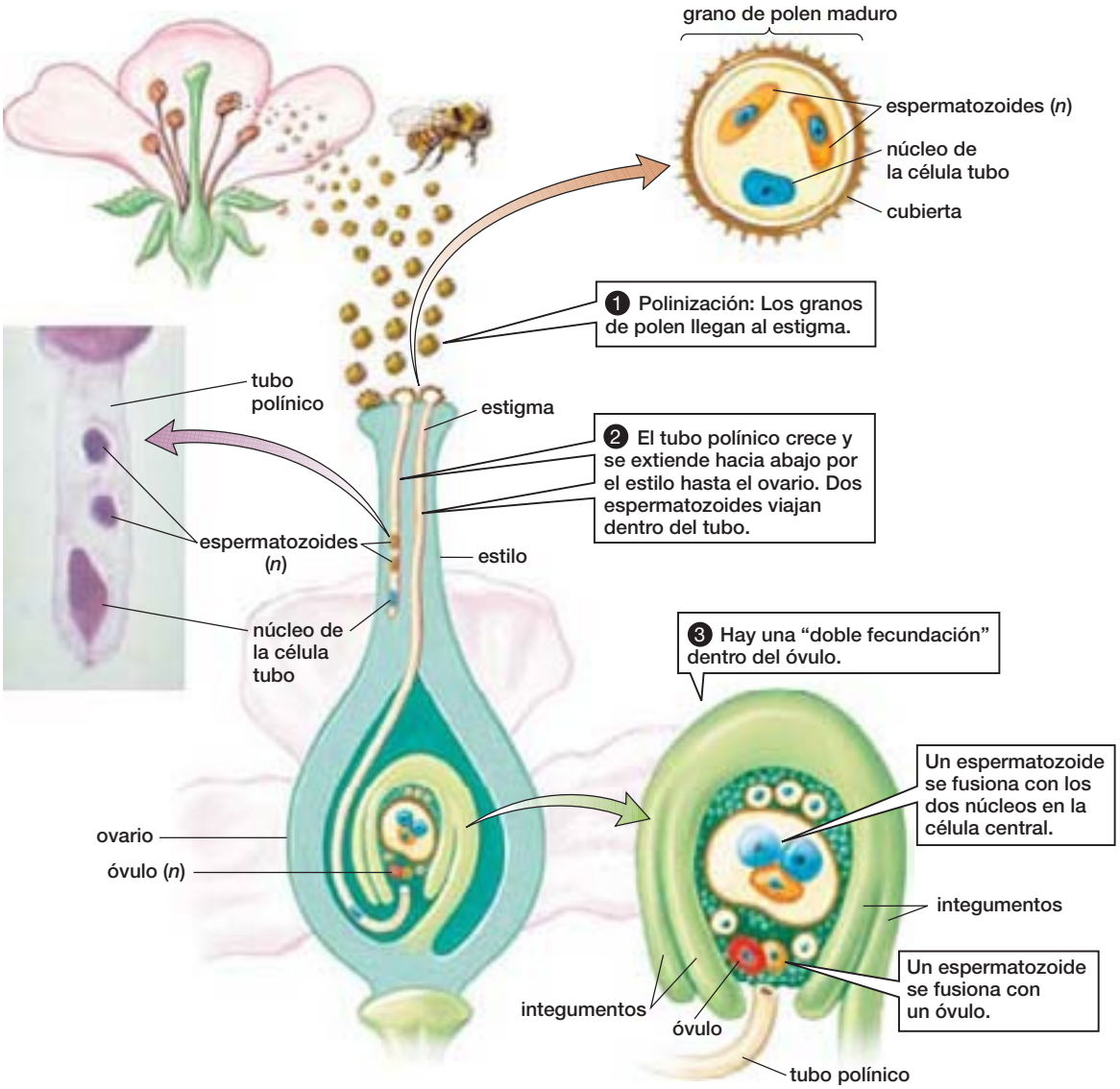

grano de polen maduro
espermatozoides (n)
núcleo de la célula tubo
cubierta
1 Polinización: Los granos de polen llegan al estigma.
tubo polínico
estigma
2 El tubo polínico crece y se extiende hacia abajo por el estilo hasta el ovario. Dos espermatozoides viajan dentro del tubo.
espermatozoides (n)
estilo
núcleo de la célula tubo
3 Hay una "doble fecundación" dentro del óvulo.
Un espermatozoide se fusiona con los dos núcleos en la célula central.
ovario
óvulo (n)
integumentos
Un espermatozoide se fusiona con un óvulo.
integumentos
óvulo
tubo polínico

FIGURA 43-11 **Polinización y fecundación de una flor**

RA 43-8). Esta cubierta protege a las células del interior durante su viaje, algunas veces largo, hacia el carpelo. El gametofito masculino y su cubierta protectora, en conjunto, forman el grano de polen.

Una vez que ha madurado el polen, los sacos polínicos de la antera se abren. En las flores polinizadas por el viento, como las de los pastos (FIGURA 43-9) y los robles, los granos de polen se derraman y las corrientes de aire los dispersan ampliamente. Unos cuantos de esos granos llegan a otras flores de la misma especie y las polinizan. En las flores polinizadas por animales, el polen se adhiere débilmente a la caja de la antera hasta que pasa por ahí el polinizador y los recoge o se le adhieren.

El gametofito femenino se forma dentro del óvulo del ovario

En un ovario, masas de células se diferencian para formar óvulos. Cada óvulo joven consiste en capas exteriores de células protectoras llamadas **integumentos**, los cuales rodean a una sola **célula madre de megasporas** diploide (FIGURA 43-10). Esa célula grande produce el gametofito femenino. Primero se divide por meiosis una vez y produce cuatro **megasporas** haploides grandes. Tres megasporas sufren degeneración y una sobrevive. El núcleo de esta megaspora se divide por mitosis tres veces para producir ocho núcleos haploides. Luego, las membranas plasmáticas dividen el citoplasma en siete células (no ocho). Hay tres células pequeñas en cada extremo, cada una de las cuales contiene un núcleo, y una célula grande en medio que contiene dos núcleos. Este organismo de siete células es el gametofito femenino haploide. El **óvulo** es una de las tres células en el extremo inferior, cerca de la abertura o poro de los integumentos del óvulo (figura 43-10).

La polinización de la flor permite la fecundación

Si bien la *polinización* es necesaria para la *fecundación*, estos fenómenos son diferentes. La **polinización** ocurre cuando un grano de polen llega al estigma de una flor perteneciente a la misma especie de planta, lo que desencadena una extraordinaria serie de acontecimientos (FIGURA 43-11). El grano de polen absorbe agua del estigma. La célula generadora se divide por mitosis para formar dos espermatozoides. Mientras tanto, la célula tubo se alarga, penetra en el estilo y forma un tubo que conducirá a los espermatozoides hasta el óvulo dentro del ovario.

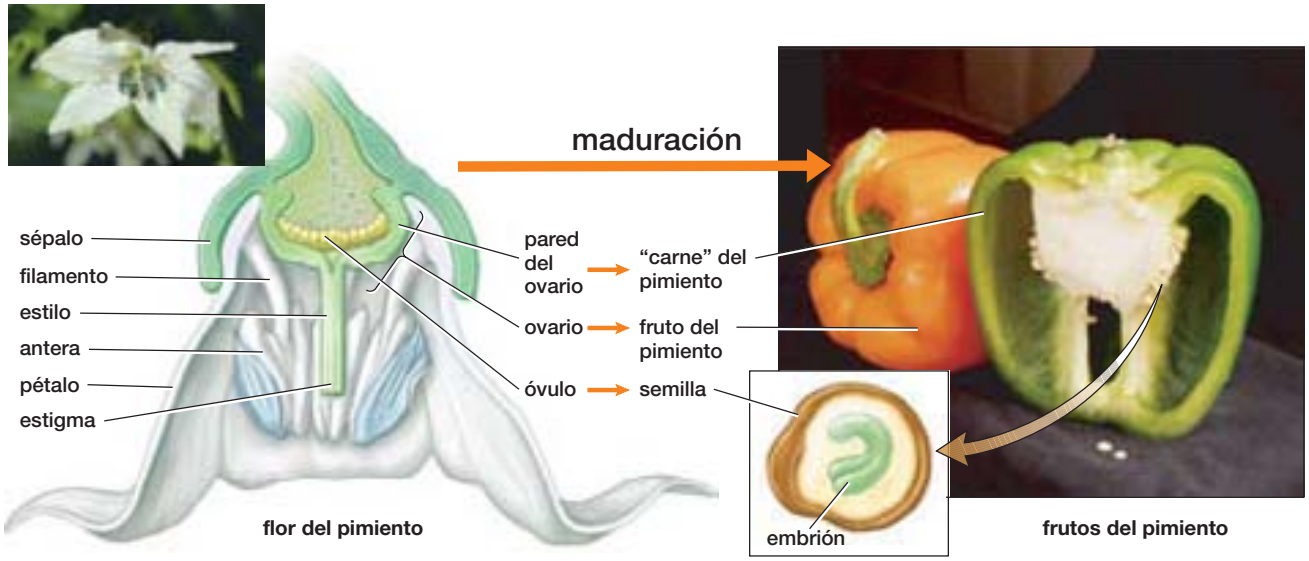


FIGURA 43-12 Desarrollo del fruto y las semillas en un pimiento
Los frutos y las semillas se desarrollan de las partes de la flor. La pared del ovario madura para convertirse en la "carne" del pimiento. Cada ovario alberga muchos óvulos, los cuales se desarrollan en semillas. El cigoto dentro de cada semilla se desarrolla en el embrión.

Si todo sale bien, el tubo polínico llegará al poro del integumento de un óvulo y penetrará en el gametofito femenino. La punta del tubo se rompe y libera los dos espermatozoides. Uno de ellos se une con el óvulo, un proceso llamado **fecundación**, para formar el cigoto diploide que, al desarrollarse, producirá el embrión y finalmente un nuevo esporofito. El segundo espermatozoide entra en la célula central grande y su núcleo se fusiona con los dos núcleos ya existentes, para formar un *núcleo triploide* (con tres juegos de cromosomas). Después de varias divisiones por mitosis, esta célula dará origen al **endospermo** triploide (*3n*), un tejido que almacena alimento dentro de la semilla. La fusión del óvulo con un espermatozoide y de los dos núcleos centrales con el segundo espermatozoide se conoce como **doble fecundación**, un proceso que es exclusivo de las plantas con flor. Las otras cinco células del gametofito femenino sufren degeneración poco después de la fecundación.

43.4 ¿CÓMO SE DESARROLLAN LOS FRUTOS Y LAS SEMILLAS?

Aprovechando los recursos de la planta progenitora, el gameto femenino y los integumentos que rodean al óvulo se desarrollan para producir una semilla. La semilla está rodeada por el ovario, que se desarrolla para formar un fruto (FIGURA 43-12). Luego de cumplir con su misión de atraer polinizadores y producir polen, los pétalos y los estambres se marchitan y caen a medida que el fruto crece.

El fruto se desarrolla a partir del ovario

Cuando comemos un fruto, estamos consumiendo el ovario maduro de una planta (en ocasiones acompañado por otras partes de la flor). Los alimentos que comúnmente llamamos frutos (manzanas, bayas, duraznos, naranjas, plátanos) por lo general son dulces y jugosos, pero muchos de los que conocemos como "verduras", como aguacates, calabacitas, tomates y pimientos (véase la figura 43-12), en realidad son frutos. También es posible que los frutos tengan cubiertas duras, rasposas o incluso con alas o con púas. Las diversas formas, colores y texturas de los frutos sirven para la misma función; ayudan a dispersar las semillas lejos de la planta progenitora, en muchos casos sacando ventaja de la movilidad de los animales (véase "Guardián de la Tierra: Dodós, murciélagos y ecosistemas perturbados"). Por ejemplo, los abrojos que se adhieren a tus calcetines cuando caminas por un campo en el otoño probablemente sean frutos especializados que te solicitan dispersar sus semillas.

La semilla se desarrolla a partir del óvulo

Dentro del óvulo ocurren dos procesos de desarrollo distintos para producir la semilla (FIGURA 43-13). Primero, la célula central triploide se divide rápidamente. Sus células hijas absorben nutrimentos de la planta progenitora y forman un endospermo lleno de alimento. Segundo, el cigoto se convierte en el embrión (figura 43-13a, b), mientras las otras cinco células del gametofito femenino degeneran. Tanto en las monocotiledóneas como en las dicotiledóneas, el embrión consta de una raíz y un vástago embrionarios (figura 43-13c). La porción del vástago incluye uno o dos **cotiledones**, u hojas de semilla, que absorben las moléculas de alimento del endospermo y las transfieren a otras partes del embrión. Cuando comemos chícharos, frijoles, maíz, arroz o trigo, nos beneficiamos del alimento que estas plantas almacenaron en las semillas para sus propios embriones. Mientras tanto, las cubiertas exteriores o integumentos del óvulo aumentan de grosor, se endurecen y se convierten en el **tegumento de la semilla** que rodea y protege esta última.

En las monocotiledóneas (término que significa "un cotiledón"), por lo regular, el cotiledón absorbe parte del endospermo durante el desarrollo de la semilla, pero la mayor parte del endospermo se conserva en la semilla madura para utilizarse directamente en la plántula germinada, como se ilustra con un grano de maíz en la FIGURA 43-14a. Los cereales como el arroz, la cebada y el trigo son monocotiledóneas. En el caso del trigo, molemos el endospermo para producir harina y a veces consumimos el embrión de la semilla como "germen de trigo".

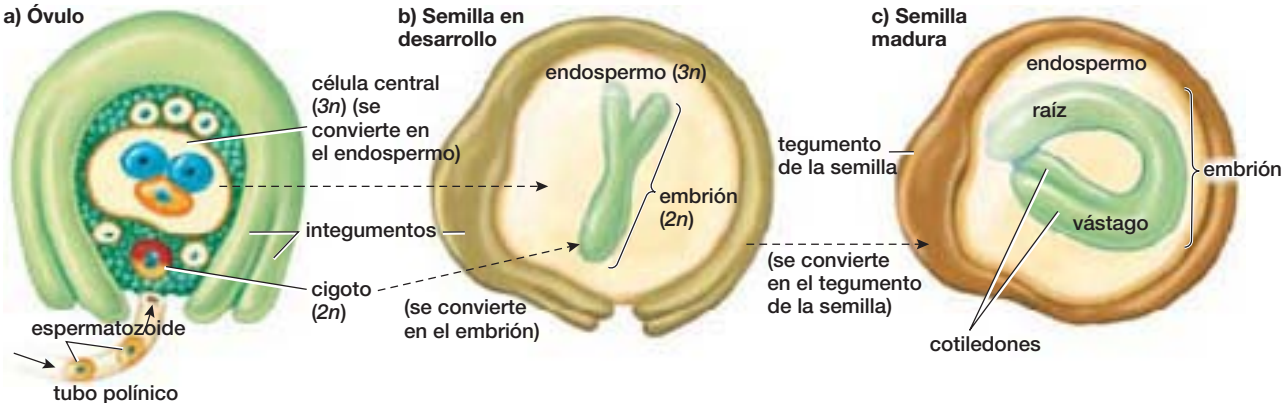


FIGURA 43-13 Desarrollo de la semilla

a) El desarrollo de la semilla comienza después de que un espermatozoide se fusiona con el óvulo para formar un cigoto diploide y luego de que el segundo espermatozoide se une con la célula central. ***b)*** El endospermo se desarrolla a partir de la célula central triploide, la cual se divide varias veces por mitosis conforme absorbe nutrimentos de la planta progenitora. Luego se desarrolla el embrión, absorbiendo nutrimentos del endospermo. ***c)*** Los dos cotiledones de las dicotiledóneas (como este pimiento) absorbe endospermo a medida que la semilla se desarrolla.

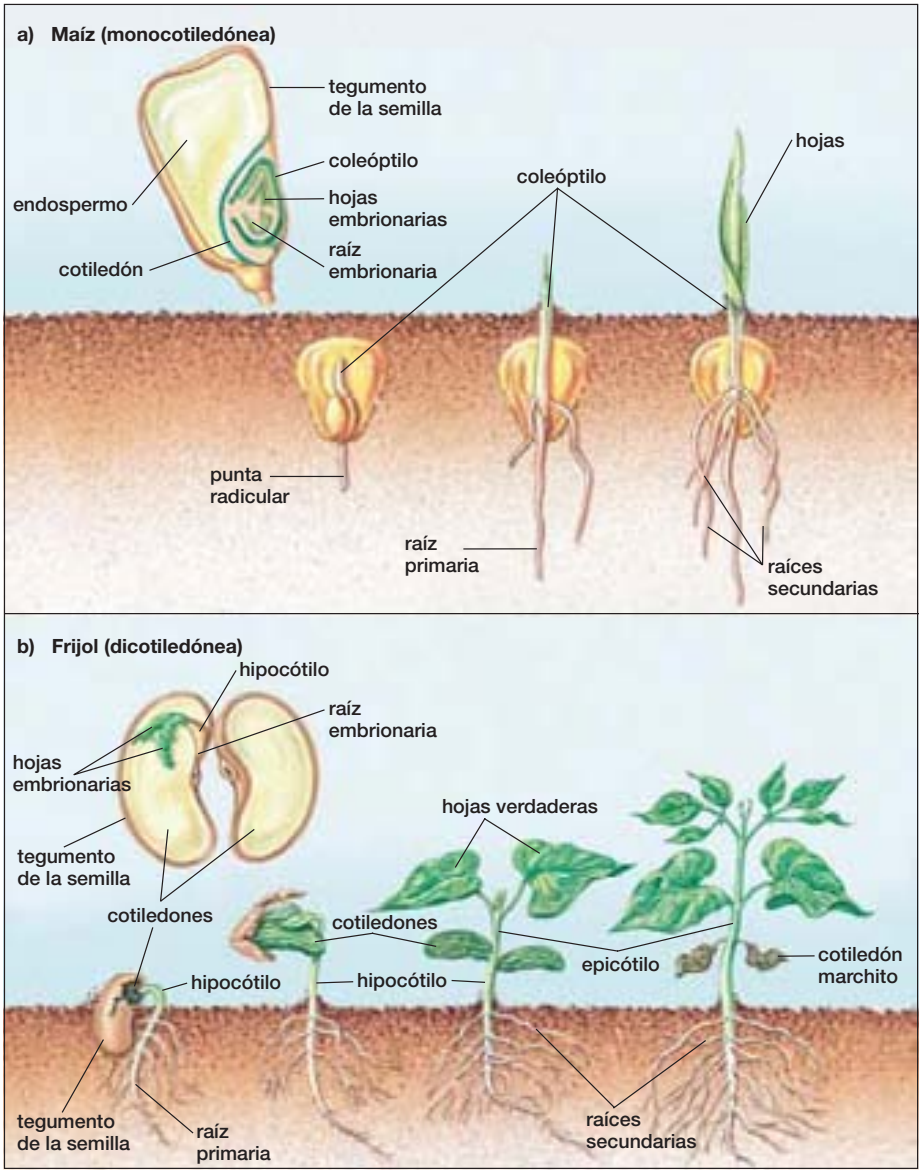


FIGURA 43-14 Germinación de las semillas

Primero, la raíz crece rápidamente absorbiendo agua y nutrimentos. ***a)*** En las monocotiledóneas, como el maíz, la punta del vástago está protegida dentro de un coleóptilo resistente. ***b)*** En las dicotiledóneas, como el frijol, el hipocótilo (ilustrado) o el epicótilo forman una curvatura que sale primero del suelo, protegiendo la punta del vástago.

GUARDIÁN DE LA TIERRA Dodós, murciélagos y ecosistemas perturbados

Las plantas con flor dominan los ecosistemas terrestres en gran medida gracias a las relaciones mutuamente benéficas que han establecido con los animales que polinizan sus flores y dispersan sus semillas. Dentro de ecosistemas complejos, estas relaciones mutuamente benéficas sostienen a las poblaciones tanto de plantas como de animales y, en última instancia, al ecosistema mismo.

En la isla Mauricio, en el Océano Índico, el árbol calvaria, al igual que la mayoría de las plantas nativas de la isla, está en peligro de extinción. Los calvarias producen un fruto grande y comestible parecido a un durazno, con un hueso muy duro rodeado por pulpa. En la actualidad, los árboles que quedan producen frutos sanos que caen al suelo y rápidamente se pudren en el clima tropical. Las semillas del interior son muy susceptibles a las infecciones de hongos y bacterias, que la putrefacción del fruto promueve. Antes de la llegada del hombre, la isla era el hogar del dodó (**FIGURA E43-3a**). Los primeros marineros que llegaron no tenían dificultad para capturar a los grandes y lentos dodós, y para 1681 la cacería había extinguido la especie. Otros animales nativos, como las tortugas de tierra gigantes, los loros de pico grande y el escinco gigante (un reptil de gran tamaño), también se extinguieron cuando los seres humanos introdujeron monos, cerdos, venados y varios tipos de plantas en la isla Mauricio. Todos estos factores amenazaron a los calvaria. Los científicos creen que algunos de esos animales desaparecidos comían el fruto del calvaria antes de que tuviera tiempo de pudrirse, con lo que las semillas se limpiaban perfectamente y quedaban protegidas contra el ataque de los hongos. Además, los animales dispersaban las semillas por toda la isla, garantizando que algunas de ellas llegaran a lugares favorables para la germinación.

En otro ejemplo, en la isla de Madagascar, frente a las costas de África, los investigadores han identificado más de 20 especies de árboles que dependen primordialmente de los lémures (primates arborícolas) para la diseminación de sus semillas. Pero una población humana que crece de forma acelerada está destruyendo los hábitat de los lémures, los cuales se están extinguiendo rápidamente. Donde desaparecen los lémures, también están desapareciendo esos árboles.

En muchos bosques tropicales, los murciélagos frugívoros son los más importantes agentes diseminadores de semillas (**FIGURA E43-3b**). Los murciélagos pueden volar más de 30 kilómetros en una noche y consumir hasta el doble de su peso en frutas cuyas semillas expulsan al defecar durante el vuelo. El biólogo Donald Thomas descubrió que después de pasar por el tracto digestivo de un murciélago, casi todas las semillas germinaron; en contraste, las semillas de la fruta que se plantaron directamente sólo tuvieron una proporción de germinación del 10 por ciento. Actualmente, en las selvas tropicales del sur de México, animales frugívoros que dispersan las semillas, como monos, tapires y venados, han sido objeto de una cacería excesiva, en tanto que los murciélagos que comen fruta están amenazados por la destrucción del hábitat en aras de obtener tierras para la agricultura. Las frutas tropicales se están pudriendo en el suelo de la selva o produciendo vástagos destinados a morir bajo la sombra de sus progenitores; la diseminación se ha reducido drásticamente. Según Alejandro Estrada, investigador de la Universidad de México, "la supervivencia de los bosques tropicales, cuyos primates,... aves y murciélagos han sido víctimas de la cacería, es tan precaria como si los árboles hubieran sido talados y arrancados". La red de seres vivos interdependientes vinculados por interacciones forjadas a lo largo de milenios de coevolución es frágil y fácil de perturbar. Sólo si comprendemos y preservamos las complejas y cruciales interacciones entre plantas y animales tendremos esperanzas de conservar ecosistemas diversos y funcionales.

FIGURA E43-3 Los animales que diseminan las semillas son cruciales para algunos ecosistemas
a) El dodó y otros animales ahora extintos probablemente ayudaron a dispersar y promover la germinación de los árboles de calvaria en la isla Mauricio. Ahora los árboles están en grave peligro y casi nunca germinan en la selva. ***b)*** Un murciélago en Kenia come un higo maduro. Sin murciélagos y otros animales diseminadores de semillas, algunas comunidades de los bosques tropicales quizá no podrían sobrevivir.

En las dicotiledóneas ("dos cotiledones"), los cotiledones absorben la mayor parte del endospermo durante el desarrollo de las semillas, de manera que la semilla madura prácticamente se llena con el embrión, como se ilustra con la semilla de frijol en la FIGURA 43-14b. Si se retira el fino tegumento de un frijol o de un guisante, la parte interna puede dividirse fácilmente en dos mitades; cada una es un cotiledón.

43.5 ¿CÓMO GERMINAN Y CRECEN LAS SEMILLAS?

Todas las semillas necesitan calor y humedad para germinar, pero muchas semillas que recién han madurado no germinan de inmediato, aunque las condiciones sean ideales. En vez de ello, entran en un estado de **latencia** en el que su actividad metabólica se reduce, lo que les permite resistir condiciones ambientales adversas.

El estado de latencia de las semillas ayuda a asegurar la germinación en el momento apropiado

El estado de latencia de las semillas resuelve dos problemas. En primer lugar, evita que las semillas germinen dentro del fruto; en tal caso, la nueva planta podría ser consumida por un animal frugívoro o atacada por los hongos cuando el fruto está en descomposición. Además, si nacieran plántulas dentro de un fruto que contiene muchas semillas, crecerían en un cúmulo apretado, compitiendo entre sí por nutrimentos y luz. En segundo lugar, las condiciones ambientales que son adecuadas para el crecimiento de las plántulas (como humedad y temperatura apropiadas) podrían no coincidir con la maduración de las semillas. Por ejemplo, las semillas que maduran a fines del verano en *climas templados* (en latitudes medias donde hay cuatro estaciones marcadas) enfrentarán el frío invierno inminente. De esta forma, el invierno transcurre mientras las semillas se encuentran en estado latente, antes de que se originen los tiernos vástagos jóvenes. En las tibias y húmedas regiones tropicales, la latencia de las semillas es mucho menos común que en las regiones templadas porque las condiciones ambientales son apropiadas para la germinación durante todo el año.

Además de suficiente humedad y temperatura apropiada, muchas especies vegetales tienen requerimientos adicionales para la germinación de las semillas, los cuales están en fina sincronización con el ambiente nativo de cada planta y con los mecanismos utilizados para la dispersión. Los tres requisitos más comunes para poner fin al estado de latencia de las semillas son la desecación, la exposición al frío y la ruptura del tegumento de la semilla.

- *Desecación.* La desecación impide que la semilla germine mientras aún está en el fruto. Muchas semillas de este tipo son diseminadas por animales frugívoros, que no pueden digerir las semillas. Estas semillas son excretadas con las heces y quedan expuestas al aire, donde se secan. Luego, cuando los niveles de temperatura y humedad son favorables, las semillas germinan.
- *Frío.* mente, ya que sucumbirían sin remedio durante el frío invierno. De esta manera, las semillas germinarán en la siguiente primavera.
- *Ruptura del tegumento de la semilla.* El tegumento mismo podría necesitar aclimatarse o ser digerido parcialmente antes de que la germinación ocurra; otros contienen sustancias que inhiben la germinación (como se describió en el capítulo 29). En los desiertos, por ejemplo, es común que transcurran años sin que haya suficiente agua para que las plantas completen su ciclo de vida. Los tegumentos de las semillas de muchas plantas desérticas tienen sustancias solubles en agua que inhiben la germinación. Sólo una lluvia intensa puede eliminar los inhibidores como para permitir que broten las plantas. Una semilla del loto sagrado de Asia (véase la figura 43-1), que fue encontrada en el lecho de un lago seco en China, germinó cuatro días después de que su tegumento se retiró. Una prueba de radiocarbono reveló que la semilla tenía unos 1300 años.

En la germinación, la raíz surge primero, seguida del vástago

Durante la germinación, el embrión absorbe agua, lo que hace que se hinche y rompa el tegumento. La raíz suele ser la primera estructura en salir del tegumento; crece con rapidez y absorbe agua y minerales del suelo. Conforme se hunde en la tierra, el meristemo apical en la punta de la raíz está protegido por una cofia (véase la figura 42-15 en el capítulo 42). Gran parte del agua se transporta hacia el vástago. Al alargarse sus células, el tallo empuja hacia arriba y sale del suelo en busca de luz.

El vástago embrionario generalmente consta de dos partes. Debajo de los cotiledones, pero por arriba de la raíz, se encuentra el **hipocótilo** ("hipo" significa debajo en griego); arriba de los cotiledones, el vástago se llama **epicótilo** ("epi" significa encima). En la punta del epicótilo se encuentra el meristemo apical del vástago; sus células hijas se diferenciarán después en distintos tipos de células del tallo, las hojas y las flores. En algunos embriones, una o dos hojas en desarrollo podrían comenzar a formarse.

Conforme se abre paso a través del suelo, el vástago en germinación debe proteger de la abrasión el meristemo apical y las tiernas hojas de la punta. En las monocotiledóneas, el **coleóptilo**, una vaina resistente, envuelve la punta del vástago como un guante (véase la figura 43-14a) haciendo a un lado las partículas del suelo conforme crece la punta. Una vez que sale al aire, el coleóptilo degenera para que pueda salir el vástago tierno. Las dicotiledóneas no tienen coleóptilo. En vez de ello, el vástago forma una curvatura en el hipocótilo o el epicótilo (véase la figura 43-14b). El codo de esta curvatura, cubierto por células epidérmicas con paredes celulares resistentes, abre camino en el suelo para el meristemo apical, que apunta hacia abajo, y sus tiernas hojas nuevas. Tan pronto como emerge, el vástago comienza a enderezarse orientando sus hojas hacia la radiación solar.

Los cotiledones nutren a la semilla germinada

El alimento almacenado en la semilla provee la energía para la germinación. Recordemos que los cotiledones de muchas dicotiledóneas absorben al endospermo durante el desarrollo de la semilla, por lo que se hinchan y se llenan de alimento.

FIGURA 43-15 Los cotiledones nutren a la planta en desarrollo
En las dicotiledóneas, como los frijoles y la familia de las calabazas, las hojas de semilla o cotiledones se expanden para realizar la fotosíntesis. La primera "hoja verdadera" se desarrolla un poco después. Finalmente, los cotiledones se marchitan y mueren.

En las dicotiledóneas con hipocótilo curvo, como los frijoles y los miembros de la familia de las calabazas, el vástago, al alargarse, saca los cotiledones del suelo. Estos cotiledones expuestos al aire suelen ponerse verdes, realizan la fotosíntesis y transfieren al vástago tanto el alimento almacenado como azúcares recién sintetizados (**FIGURA 43-15**). En las dicotiledóneas con epicótilo curvado, los cotiledones permanecen enterrados, marchitándose a medida que el embrión absorbe su alimento almacenado. Las monocotiledóneas (véase el caso del maíz en la figura 43-14a) conservan casi toda su reserva de alimento en el endospermo hasta la germinación, cuando el cotiledón la digiere y absorbe a medida que crece el embrión. El cotiledón permanece enterrado en el residuo de la semilla.

Una vez en el aire, el vástago extiende rápidamente sus hojas al Sol. De forma simultánea, el sistema de raíz penetra en el suelo. Las células del meristemo apical del vástago y la raíz se dividen para dar origen a las estructuras maduras descritas en el capítulo 42. Finalmente, la planta madura, florece y produce semillas, renovando así el ciclo de vida. La regulación de este ciclo —incluyendo por qué los vástagos crecen hacia arriba mientras las raíces crecen hacia abajo y por qué las plantas producen flores en la época adecuada del año— se describe en el capítulo 44.

43.6 ¿CUÁLES SON ALGUNAS ADAPTACIONES PARA LA POLINIZACIÓN Y LA DISPERSIÓN DE SEMILLAS?

La coevolución pone en contacto a plantas y polinizadores

En muchos casos, las plantas y sus polinizadores han coevolucionado, es decir, cada uno ha actuado como un agente de selección natural sobre el otro. Las flores polinizadas por los animales deben atraer a polinizadores útiles y desalentar a los visitantes indeseables que podrían consumir el néctar o el polen sin contribuir a su fecundación. Por otra parte, los animales deben ser capaces de localizar e identificar a las plantas con valor nutritivo y extraer de ellas el néctar o el polen. Las flores polinizadas por animales pueden agruparse, a grandes rasgos, en tres categorías, dependiendo de los beneficios (reales o imaginarios) que ofrecen a los polinizadores en potencia. Así, esas flores ofrecen: alimento, sexo o un criadero. Como veremos, algunas plantas han evolucionado en formas que engañan a los insectos para que las polinicen sin gastar energía en brindarles alimento.

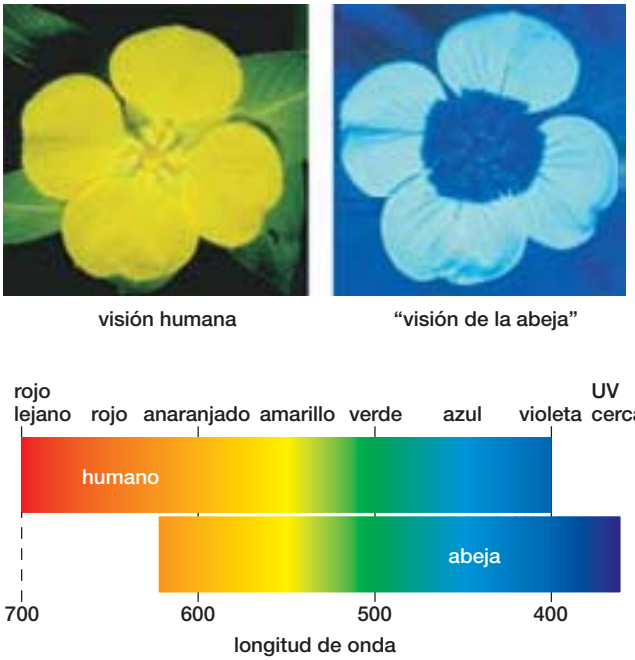


FIGURA 43-16 Patrones de luz ultravioleta guían a las abejas hacia el néctar
(Abajo) Los espectros de la visión del color para los humanos y las abejas se traslapan considerablemente, pero difieren en los extremos. Los seres humanos somos sensibles al rojo, que las abejas no perciben; las abejas pueden ver la luz ultravioleta, que es invisible para el ojo humano. (Arriba) Las flores fotografiadas bajo luz de día ordinaria (izquierda) y bajo luz UV (derecha) muestran notables diferencias en los patrones de color. Las abejas pueden ver patrones UV, que posiblemente las conducen a los centros llenos de néctar y polen de las flores.

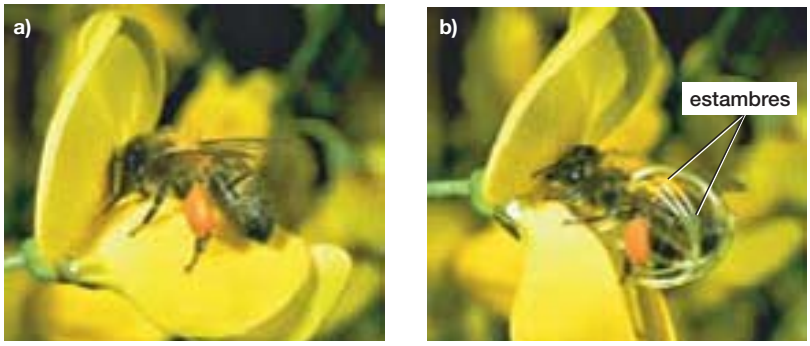


FIGURA 43-17 Un polinizador es "polinizado"
a) En las flores escoba escocesa, la abeja encuentra néctar en la unión de los pétalos superiores e inferiores. **b)** El peso de la abeja dobla los pétalos inferiores hacia abajo y hace que salgan estambres curvos cargados de polen que cubren el peludo dorso del insecto con polen. La abeja llevará el polen a otras flores escoba escocesa y dejará un poco en los estigmas listos para ser fecundados.

FIGURA 43-18 Una col fétida
Los insectos carroñeros son atraídos por el olor fétido emitido por las flores como esta col fétida del Oriente, cuya calidez derrite la nieve que hay alrededor.

Algunas flores proveen alimento a los polinizadores

Muchas flores ofrecen alimento a animales como escarabajos, abejas, polillas, mariposas y colibríes. A cambio, los animales reparten sin querer el polen de flor en flor. Podemos agradecer a las abejas la existencia de casi todas las flores de aroma agradable, porque los dulces olores "florales" atraen a estos polinizadores (las flores producen aromas en sus pétalos o en otras partes, dependiendo de la especie). Las abejas tienen buena visión del color, pero no ven exactamente la misma gama de colores que los seres humanos (**FIGURA 43-16**). Para atraer a las abejas desde lejos, las flores polinizadas por esos insectos deben presentarles colores brillantes. Por lo regular, esas flores son blancas, azules, amarillas o anaranjadas y muchas tienen otras marcas, como manchas centrales o líneas que apuntan hacia el centro, las cuales reflejan la luz ultravioleta.

Las flores polinizadas por abejas tienen adaptaciones estructurales que ayudan a garantizar la transferencia de polen. En la flor escoba escocesa, por ejemplo, el néctar se forma en una hendidura entre los pétalos. En las flores recién abiertas, los estambres cargados de polen sobresalen de la hendidura. Cuando una abeja visita una flor joven, su peso dobla los pétalos hacia abajo, de manera que los estambres salen y salpican de polen su dorso (**FIGURA 43-17**). En las flores más viejas, el estigma pegajoso del carpelo sobresale de la hendidura, así que cuando una abeja cubierta de polen entra en la flor en busca de néctar, deja el polen en el estigma.

Muchas flores adaptadas a la polinización por polillas y mariposas tienen tubos llenos de néctar en los que puede entrar la larga lengua de esos insectos. Las flores polinizadas por polillas nocturnas se abren únicamente al anochecer; casi todas son blancas y algunas despiden fuertes olores de almizcle que ayudan a la polilla a encontrar la flor en la oscuridad. Los escarabajos y las moscas prefieren alimentarse de materia animal, así que las flores polinizadas por escarabajos expiden un olor a estiércol o carne en descomposición para atraer a esos insectos carroñeros. Algunas de esas flores, como la "flor cadáver" (véase la fotografía al inicio del capítulo) y la col fétida del Oriente (**FIGURA 43-18**) también se calientan. El calor atrae a polinizadores y sin duda ayuda a difundir aromas desagradables (véase la sección "Otro vistazo al estudio de caso"). Estas flores engañan a sus polinizadores: huelen a carne en descomposición, rica en nutrimentos, pero en realidad no ofrecen alimento.

Los colibríes se cuentan entre los pocos polinizadores vertebrados (**FIGURA 43-19a**), aunque varios mamíferos también visitan las flores (**FIGURA 43-19b**). Puesto que el sentido del olfato de los colibríes es notablemente deficiente, las flores

a)

FIGURA 43-19 Algunos polinizadores vertebrados
a) Un colibrí se alimenta de una flor de hibisco. Observa la posición de las anteras para depositar el polen sobre su cabeza. b) Cuando la zarigüeya mielera husmea en esta flor, granos de polen se pegan a su hocico y sus bigotes. Una visita a otra flor transferirá el polen. PREGUNTA: ¿Por qué muchas plantas que son polinizadas por los colibríes desarrollaron flores con forma de tubos alargados y delgados?

FIGURA 43-20 El engaño sexual promueve la polinización
Esta avispa macho intenta aparearse con la flor de una orquídea. El resultado es una reproducción fructífera, ¡pero para la orquídea, no para la avispa!

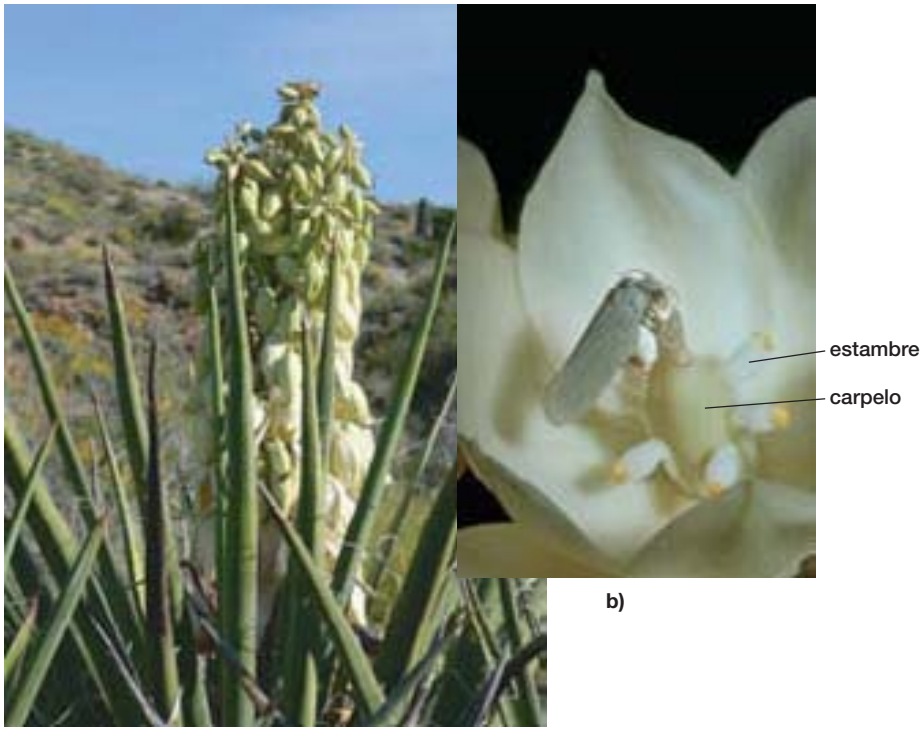
polinizadas por estas aves casi nunca sintetizan sustancias perfumadas; en cambio, producen más néctar que otras flores, pues los colibríes necesitan más energía que los insectos y prefieren las flores que pueden suministrarla. Estas flores tienen una forma tubular profunda, congruente con los largos picos y lenguas de esas aves. Además, casi todas las flores polinizadas por colibríes son de color rojo, el cual tiene un atractivo especial para los colibríes, mientras que las abejas son incapaces de distinguirlo (véase la figura 43-16).

Engaños sexuales atraen a polinizadores

Para polinizar sus flores, unas cuantas plantas, entre las que destacan las orquídeas, aprovechan el instinto de apareamiento y los comportamientos estereotipados de las avispas macho. Algunas flores de orquídeas imitan a las avispas o abejas hembra tanto en su olor (las orquídeas liberan un atrayente sexual similar al producido por el insecto hembra) como en su forma (**FIGURA 43-20**). Los machos se posan sobre estas "hembras falsas" e intentan aparearse, aunque lo único que consiguen es un paquete de polen. Al repetir su intento con otras orquídeas de la misma especie, las avispas transfieren el paquete de polen.

Algunas plantas ofrecen criaderos para los polinizadores

Tal vez las relaciones más complejas entre plantas y polinizadores se den en unos cuantos casos en que los insectos fecundan una flor y luego ponen sus huevecillos en el ovario de ésta. Este acuerdo se presenta entre el algodoncillo y la chinche del algodoncillo, entre la higuera y ciertas avispas, así como entre la yuca y la polilla de la yuca (**FIGURA 43-21**). El extraordinario comportamiento de la polilla da como resultado la polinización de la yuca y una alacena bien surtida para su prole. Una polilla hembra visita una flor de yuca, recoge polen y forma con él una bola compacta, vuela llevando la bola de polen hasta llegar a otra flor de yuca, hace un agujero en la pared del ovario y pone sus huevecillos dentro de éste. Luego toma la bolita de polen y la embarra en el estigma de la flor, ejecutando de manera impecable este comportamiento programado genéticamente. Al polinizar la yuca, la polilla garantiza que la planta producirá semillas en desarrollo para las orugas que constituyen su prole. Puesto que las orugas sólo consumen una fracción de las semillas, la yuca también lo-



a) b)

FIGURA 43-21 Una relación de dependencia mutua
Las yucas florecen en las áridas llanuras del este de Colorado a principios del verano. ***b)*** Una polilla deposita el polen en el estigma de una flor de yuca.

a)

b)

FIGURA 43-22 Frutos dispersados por el viento
a) El diente de león tiene pelusas filamentosas que las brisas atrapan. ***b)*** Los frutos del arce parecen helicópteros-planeadores en miniatura, cuyo giro en espiral los aleja del árbol cuando caen. EJERCICIO: Para ver cómo las alas ayudan a dispersar las semillas, toma dos frutos de arce y quita el ala a uno. Sostén ambos arriba de tu cabeza y déjalos caer. Compara dónde caen uno y otro.

FIGURA 43-23 Fruto dispersado por agua
Después de un largo viaje por mar, una tormenta depositó este coco en una playa a buena distancia de la orilla. La "carne" y la "leche" del coco son dos tipos diferentes de endospermo. El gran tamaño y las abundantes reservas de alimento de los cocos probablemente son adaptaciones necesarias para lograr la germinación y el crecimiento de árboles en playas arenosas y estériles.

gra su reproducción. La adaptación mutua de la yuca y la polilla es total y ninguna puede reproducirse sin la otra.

Los frutos ayudan a dispersar las semillas

Una planta se beneficia si sus semillas se dispersan la distancia suficiente como para que las plantas jóvenes no compitan con sus progenitores por luz y nutrimentos. Además, las plantas tendrán más éxito y proliferarán más si sus miembros envían semillas a sitios tanto cercanos como lejanos. En las plantas con flores, los frutos utilizan una diversidad de fascinantes mecanismos para dispersar las semillas.

Los frutos explosivos efectúan una dispersión "de escopeta"

Algunas plantas desarrollan frutos explosivos que expulsan sus semillas a varios metros de la planta progenitora. Los muérdagos, parásitos comunes de los árboles, producen frutos que disparan semillas pegajosas. Si una semilla golpea un árbol cercano, se adhiere a la corteza y germina, introduciendo en los tejidos vasculares del huésped fibras que actúan como raíces para extraer alimento. Como el sitio apropiado para la germinación de una semilla de muérdago no es el suelo sino un árbol, es obvia la utilidad de disparar las semillas en vez de dejarlas caer.

Los frutos ligeros hacen posible la dispersión eólica

El diente de león y el arce (**FIGURA 43-22**) producen frutos ligeros cuya superficie atrapa el viento. Cada penachito peludo de la cabeza de un diente de león es un fruto individual que contiene una sola semilla pequeña, la cual puede viajar millas enteras si el viento coopera. En contraste, una sola ala del fruto del arce hace que su gran semilla caiga en forma de espiral, llevándola a unos metros de la planta progenitora.

Los frutos flotantes permiten la dispersión por agua

es el campeón de los flotadores. Redondo, flotante e impermeable, el coco cae de la planta progenitora, a menudo cerca de una playa. Puede germinar en ese lugar, o bien, podría rodar hasta el mar y flotar durante semanas o meses hasta llegar a tierra en alguna isla distante (**FIGURA 43-23**). Ahí, germinará y tal vez establecerá una nueva colonia de cocoteros en una isla donde antes no había palmeras.

Los frutos que se pegan o son sabrosos permiten la dispersión por animales

Las bardanas, el trébol de abrojo, el rabo de zorra y los bidentes desarrollan frutos con ganchos, horquillas, espinas o pelos adhesivos que se adhieren al pelaje de los animales (**FIGURA 43-24**) o a la ropa de los humanos. Las plantas progenitoras sujetan muy débilmente a sus frutos maduros para que el más leve contacto con un pelaje arranque al fruto de la planta y quede pegado al animal. Algunos de esos frutos podrían caerse

FIGURA 43-24 El fruto de la bardana menor usa espinas con ganchos para viajar gratis en animales peludos

cuando el animal ruede por el suelo, roce algún objeto, o cuando se acicale.

A diferencia de los frutos que se adhieren a los animales, los frutos comestibles benefician tanto al animal como a la planta. La planta almacena azúcares, almidones y atractivos sabores en un fruto carnoso que rodea a las semillas e incita a los animales hambrientos a que coman el fruto (**FIGURA 43-25**). Algunos frutos, como los duraznos, las ciruelas y los aguacates, contienen semillas grandes y duras que los animales, por lo regular, no comen. Otros frutos, como las zarzamoras, frambuesas, fresas, tomates y pimientos, tienen semillas pequeñas que son deglutidas junto con la pulpa. Luego, las semillas pasan por el tracto digestivo del animal sin sufrir daños. En algunos casos, el paso por el intestino de un animal incluso podría ser indispensable para la germinación de las semillas porque así se elimina por abrasión o digestión una parte del tegumento (véase "Guardián de la Tierra: Dodós, murciélagos y ecosistemas perturbados"). Hace poco, un estudiante de posgrado en ecología descubrió el secreto de la diseminación de las semillas de los chiles. El sabor picante desanima a los mamíferos locales que podrían comer la fruta, pero no a las aves que son incapaces de percibir el sabor. El investigador descubrió que el tracto digestivo de los mamíferos que podrían consumir los chiles destruiría las semillas, pero el paso a través del tracto digestivo de las aves eleva la tasa de germinación al triple en comparación con las semillas que simplemente caen al suelo. Además de ser transportada lejos de su progenitora, una semilla que se deglute y excreta obtiene otro beneficio: ¡recibe su propio abasto de fertilizante!

FIGURA 43-25 Los colores de las frutas maduras atraen a los animales
El fruto rojo brillante de una frambuesa atrajo a un esplendoroso quetzal en Costa Rica. Sólo los frutos maduros con semillas maduras son dulces y tienen color llamativo, lo que atrae a los animales que se alimentan de ellos y se encargan de dispersar sus semillas.

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO

¿HERMOSO? SÍ, PERO ¿CALIENTE?

Las moscas, al intentar escapar, rocían a las flores femeninas con el polen recolectado en un encuentro anterior con una flor masculina. Para el día siguiente, las vellosidades se marchitarán y las flores masculinas habrán madurado, liberando el polen sobre las moscas cuando éstas escapen. Como son aprendices lentos, las moscas resultan engañadas —y polinizadas— por muchas flores de caballo muerto.

Roger Seymour sostiene la hipótesis de que otra función importante de algunas flores calientes es recompensar a sus polinizadores de sangre fría, los cuales deben alcanzar una temperatura corporal de por lo menos 29.4°C (85°F) antes de que puedan

volar. El agradable aroma de las flores de filodendro atrae a los escarabajos que se alimentan de su polen y de otras partes de la flor. Además de proveer verdadero alimento a los escarabajos, estas benevolentes flores también ofrecen un lugar para el apareamiento. Los escarabajos se arrastran alrededor del espádice durante el día, donde se establecen para una noche de festín y apareamiento dentro de los cálidos confines de la flor (**FIGURA 43-27**). Mediciones del consumo de energía de los escarabajos revelan que utilizan un 50 por ciento menos de energía cuando frecuentan el "club nocturno" del filodendro que cuando permanecen activos fuera durante una noche fría.

Las flores que producen calor son poco comunes, y muchas son miembros de grupos primitivos en términos de evolución. Algunos botánicos piensan que la calidez de las flores fue una innovación temprana para atraer a los escarabajos polinizadores. En la actualidad, la mayoría de las flores ofrecen a sus polinizadores un sorbo de néctar que les da un poco de energía y los despiden con una rápida espolvoreada de polen, un proceso mucho más rápido y que consume menos energía en comparación con el hecho de ofrecer una flor tibia. Quizá a lo largo de la evolución, como afirma Seymour, "los clubes nocturnos fueron sustituidos por los restaurantes de comida rápida".

Piensa en esto Considera las estrategias de polinización utilizadas por la flor de caballo muerto y el filodendro que se mencionaron en esta sección y piensa en las flores "de comida rápida" de las que se habló en el capítulo. Cuando el aire está a la misma temperatura (digamos, 20°C), ¿cuál flor es probable que utilice la mayor cantidad de energía? ¿La menor cantidad de energía? Sugiere las razones evolutivas para ceder el paso a las flores "de comida rápida" que predominan en la actualidad.

FIGURA 43-27 Un "burdel" para los escarabajos
Esta flor de filodendro (nativa de la Guayana Francesa) emite olor desde el primer día en que florece (izquierda). Luego se calienta para atraer a los escarabajos, los cuales se congregan, comen, se aparean y conservan energía de la flor caliente (derecha).

REPASO DEL CAPÍTULO

RESUMEN DE CONCEPTOS CLAVE

43.1 ¿Cuáles son las características fundamentales de los ciclos de vida de las plantas?
El ciclo de vida sexual de las plantas, llamado alternancia de generaciones, comprende una forma multicelular diploide (la generación de esporofito) y una forma multicelular haploide (la generación de gametofito).

43.2 ¿Cómo se adapta la reproducción en las plantas con semilla a los ambientes secos?
En las plantas de semilla, la etapa de gametofito es muy reducida y no vive de forma independiente. El gametofito masculino encerrado dentro de una cubierta es el grano de polen, que puede ser llevado de una planta a otra por el viento o los animales. El gametofito femenino se conserva en el cuerpo de la planta esporofita. Estas adaptaciones permiten a las plantas de semilla reproducirse en ambientes relativamente secos.

43.3 ¿Cuál es la función y la estructura de las flores?
Las plantas con flor o angiospermas evolucionaron a partir de las gimnospermas. En estas últimas, el viento lleva polen de los conos masculinos a los femeninos. Sin embargo, la polinización por viento es ineficiente. En muchos hábitat, las plantas con flores tienen una ventaja selectiva sobre las gimnospermas porque muchos tipos de flores atraen insectos que llevan polen de una planta a otra.

Las flores completas constan de cuatro partes: sépalos, pétalos, estambres (las estructuras reproductoras masculinas) y carpelos (las estructuras reproductoras femeninas). Los sépalos forman la cubierta exterior del capullo de la flor. Casi todos los pétalos (y, en algunos casos, los sépalos) tienen colores brillantes y atraen polinizadores a la flor. El estambre consiste en un filamento que lleva en la punta una antera en la que se desarrolla el polen. El carpelo consiste en el ovario, en el que se desarrollan uno o más gametofitos femeninos, y un estilo. El estilo tiene en la punta un estigma pegajoso al cual se adhiere el polen durante la polinización.

El polen, formado por el gametofito masculino encerrado en una cubierta resistente, se desarrolla en las anteras. La célula madre de microsporas, que es diploide, sufre meiosis para producir cuatro microsporas haploides. Cada una de éstas se divide por mitosis para formar el gametofito masculino haploide. Un grano de polen inmaduro consta de dos células: la célula tubo y la célula generadora. La célula generadora se divide una vez para producir dos espermatozoides.

El gametofito femenino se desarrolla dentro de los óvulos del ovario. Una célula madre de megasporas, que es diploide, sufre meiosis para formar cuatro megasporas haploides. Tres de éstas sufren degeneración; la cuarta se divide por mitosis para producir los ocho núcleos del gametofito femenino. Una de ellas se convierte en el óvulo, otra se convierte en una gran célula central con dos núcleos y las demás células sufren degeneración.

La polinización es la transferencia de polen de la antera al estigma. Cuando un grano de polen se posa en un estigma, su célula tubo crece a través del estilo hasta el gametofito femenino. La célula generadora se divide para formar dos espermatozoides que

bajan por el estilo dentro de la célula tubo e ingresan finalmente en el gametofito femenino. Un espermatozoide se fusiona con el óvulo para formar un cigoto diploide, que dará origen al embrión. El otro espermatozoide se fusiona con la célula central de dos núcleos para producir una célula triploide. Esta célula dará origen al endospermo, un tejido para almacenar alimento dentro de la semilla.

Web tutorial 43.1 Reproducción en las plantas con flor

43.4 ¿Cómo se desarrollan los frutos y las semillas?

Los frutos pueden ser jugosos y comestibles; las semillas en su interior están adaptadas para pasar a través del tracto digestivo de los animales. También existen frutos que tienen ganchos que se adhieren al pelaje de los animales, o bien, alas que promueven la dispersión por medio del viento. La función de los frutos es dispersar las semillas. El embrión consiste en una raíz y un vástago embrionarios, incluyendo el cotiledón (uno en las monocotiledóneas y dos en las dicotiledóneas). Los cotiledones absorben el alimento del endospermo y los transfieren al embrión en crecimiento. La semilla está encerrada dentro del fruto, el cual se desarrolla a partir de la pared del ovario.

43.5 ¿Cómo germinan y crecen las semillas?

La germinación de las semillas requiere calor y humedad. La energía para la germinación proviene del alimento, almacenado en el endospermo, que los cotiledones se encargan de transferir al embrión. Las semillas normalmente permanecen en estado de latencia durante cierto tiempo después de la maduración del fruto, en especial en los climas templados. Para germinar, algunas semillas también requieren de condiciones de sequía, exposición al frío o ruptura de su tegumento. La raíz es la primera en surgir de la semilla germinada, absorbiendo agua y nutrimentos para el vástago. Los vástagos de las monocotiledóneas a menudo están protegidos por un coleóptilo, mientras que las dicotiledóneas utilizan la curvatura de un epicótilo o un hipocótilo para salir del suelo. Los cotiledones proveen energía al joven vástago a partir del alimento para que pueda crecer.

43.6 ¿Cuáles son algunas adaptaciones para la polinización y la dispersión de semillas?

Las plantas y los animales que les sirven como polinizadores y dispersores de semillas han coevolucionado, al actuar como agentes de selección natural unos sobre otros a lo largo de la historia evolutiva. Las flores atraen a los animales con olores, alimentos (como el néctar) y formas y colores apropiados en correspondencia con el cuerpo y los sentidos de esos animales. Algunas flores engañan a los polinizadores, atrayendo insectos con olores de alimentos o simulando la forma de una potencial pareja. Algunas plantas y sus polinizadores, como la yuca y la polilla, son completamente dependientes entre sí. Los frutos dispersan las semillas de muchas formas. Algunos están adaptados para ser transportados por el agua o el viento. Otros se adhieren al pelaje de los animales; otros más atraen a los animales para que se los coman sin dañar a las semillas.

TÉRMINOS CLAVE

alternancia de generaciones *pág. 889*
antera *pág. 892*
carpelo *pág. 892*
célula tubo *pág. 892*
célula generadora *pág. 892*
célula madre de megasporas *pág. 895*
célula madre de microsporas *pág. 892*
cigoto *pág. 889*
coleóptilo *pág. 899*
cotiledón *pág. 896*
doble fecundación *pág. 896*
endospermo *pág. 896*
epicótilo *pág. 899*
espora *pág. 889*
esporofito *pág. 889*
estambre *pág. 892*
estigma *pág. 892*
estilo *pág. 892*
fecundación *pág. 896*
filamento *pág. 892*
flor *pág. 891*
flor completa *pág. 892*
flor incompleta *pág. 892*
fruto *pág. 892*
gametofito *pág. 889*
germinar *pág. 889*
grano de polen *pág. 889*
hipocótilo *pág. 899*
integumento *pág. 895*
latencia *pág. 899*
megaspora *pág. 895*
microspora *pág. 892*
ovario *pág. 892*
óvulo *pág. 892*
pétalo *pág. 892*
polinización *pág. 895*
semilla *pág. 889*
sépalo *pág. 892*
tegumento de la semilla *pág. 896*

RAZONAMIENTO DE CONCEPTOS

Elabora un diagrama del ciclo de vida de las plantas, comparando los helechos con las plantas con flores. ¿Qué etapas son haploides y qué etapas son diploides? ¿En qué etapa se forman los gametos?

¿Cuáles son las ventajas de las etapas reducidas de gametofito en las plantas con semilla en comparación con los gametofitos más sustanciales de los helechos?

3. Elabora un diagrama de una flor completa. ¿Dónde se forman los gametofitos masculino y femenino?

4. ¿Cómo se desarrolla un óvulo dentro de un gametofito femenino? ¿Cómo permite esta estructura que se realice la doble fecundación?

5. ¿Qué es un grano de polen y cómo se forma?

6. ¿De qué partes se compone una semilla y cómo contribuye cada una al desarrollo de una plántula?
7. Describe las características que esperarías encontrar en flores polinizadas por el viento, escarabajos, abejas y colibríes, respectivamente. En cada caso, explica por qué se desarrollarían tales rasgos.
8. ¿Qué es el endospermo? ¿De qué célula del gameto femenino se deriva? ¿El endospermo es más abundante en la semilla madura de una monocotiledónea o de una dicotiledónea?
9. Describe tres mecanismos por los que se interrumpe el estado de latencia en diferentes tipos de semillas. ¿Qué relación tienen esos mecanismos con el ambiente normal de la planta?
10. ¿Cómo protegen las plántulas de las monocotiledóneas y las dicotiledóneas la delicada punta del vástago durante la germinación de la semilla?
11. Describe tres tipos de frutos y los mecanismos con que ayudan a dispersar sus semillas.

APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Un amigo te regala unas semillas para sembrarlas en el patio. Las siembras, pero nada sucede. ¿Qué podrías intentar para que germinen las semillas?
2. Charles Darwin describió en cierta ocasión una flor que producía néctar en el fondo de un tubo de 43 centímetros de profundidad y predijo que debía haber una polilla u otro animal con una lengua de 43 cm de longitud. Tenía razón. Tal especialización casi con toda seguridad implica que esta flor en particular sólo podía ser polinizada por esa polilla. ¿Qué ventajas y desventajas tiene semejante especialización?
3. Muchas plantas que llamamos yerbas fueron traídas de otro continente de forma accidental o deliberada. En un entorno nuevo, tienen pocos competidores o depredadores animales, por lo que tienden a reproducirse en tales cantidades que desplazan a las plantas nativas. Piensa en varias formas en que los seres humanos podrían participar en la dispersión de las plantas. ¿Hasta qué grado crees que los seres humanos hayan alterado las distribuciones de las plantas? ¿En qué formas ha sido útil este cambio para el hombre? ¿En qué formas es una desventaja?
4. En los trópicos hay varias relaciones de coevolución entre planta y animal en las que ambos dependen de la relación para sobrevivir. En virtud de la rapidez con que se destruyen los ecosistemas tropicales, ¿cómo propicia este tipo de relaciones que ambos organismos sean especialmente vulnerables a la extinción?

PARA MAYOR INFORMACIÓN

Brown, Kathryn. "Patience Yields Secrets of Seed Longevity". *Science*, 9 de marzo de 2001. El estudio de la germinación de las plantas que realizó William Beal continúa 120 años después.

Eiseley, L. "How Flowers Changed the World". *National Wildlife*, abril-mayo de 1996. El filósofo y naturalista Loren Eiseley explica con gran elocuencia cómo la evolución de las flores ha cambiado la historia de la vida en la Tierra. Un documento bellamente escrito e ilustrado.

Milius, S. "The Science of Big, Weird Flowers". *Science News*, 11 de septiembre de 1999. Muchas flores gigantes expiden un olor a carroña y engañan a las moscas y los escarabajos para que las polinicen.

Milius, S. "Warm-Blooded Plants". *Science News*, 13 de diciembre de 2003. Algunas plantas se calientan para atraer y, en ocasiones, beneficiar a los polinizadores.

Milius, S. "Moss Express: Insects and Mites Tote Mosses' Sperm". *Science News*, 2 de septiembre de 2006. Recientes investigaciones sugieren que algunos musgos no dependen por completo del agua para transferir los espermatozoides, sino que quizá dependan también de diminutos artrópodos.

Mlot, C. "Where There's Smoke, There's Germination". *Science News*, 31 de mayo de 1997. Investigadores descubrieron que el dióxido de nitrógeno, como el que se libera en el humo, es un fuerte estímulo para la germinación de las semillas en algunas especies.

Moore, P. D. "The Buzz About Pollination". *Nature*, 7 de noviembre de 1996. El zumbido de las abejas podría contribuir a liberar el polen de ciertas flores especialmente adaptadas para ello, en una especie de "polinización sónica".

Pichersky, E. "Plant Scents". *American Scientist*, noviembre-diciembre de 2004. Los aromas de las flores no sólo podrían atraer a los polinizadores, sino también disuadir a los depredadores y organismos patógenos de atacarlas.

Seymour, R. S. y Schultz-Motel, P. "Thermoregulating Lotus Flowers". *Nature*, 26 de septiembre de 1996. La flor de loto genera una cantidad significativa de calor y regula su propia temperatura de manera eficiente. El calor podría servir para atraer a los polinizadores.

CAPÍTULO

44

Respuestas de las plantas al ambiente

Una mosca entra en una Venus atrapamoscas.
(Imagen en recuadro) La planta atrapamoscas en su ambiente natural.

DE UN VISTAZO

ESTUDIO DE CASO: Plantas de rapiña

44.1 ¿Qué son las hormonas vegetales y cómo actúan?

44.2 ¿Cómo regulan las hormonas el ciclo de vida de las plantas?

El ciclo de vida de las plantas comienza con una semilla

Investigación científica: ¿Cómo se descubrieron las hormonas vegetales?

La auxina controla la orientación de la plántula que brota

La forma genéticamente determinada de la planta adulta es resultado de interacciones hormonales

La duración del día controla la floración

Las hormonas coordinan el desarrollo de semillas y frutos

La senectud y el estado de latencia preparan a la planta para el invierno

44.3 ¿Las plantas pueden comunicarse y moverse rápidamente?

Las plantas llaman a los "guardianes" cuando son atacadas

Las plantas podrían advertir a sus vecinos y a su descendencia de los ataques

Algunas plantas se mueven rápidamente

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO: Plantas de rapiña

ESTUDIO DE CASO PLANTAS DE RAPIÑA

EN LA MARISMA, LAS PLANTAS ESTÁN "HAMBRIENTAS", no de luz solar, sino de nitrógeno. Las marismas y las ciénagas tienden a ser medios ácidos, y el ácido desalienta el crecimiento de las bacterias fijadoras de nitrógeno. Aunque el nitrógeno es escaso en el medio acuático, es abundante en las proteínas del cuerpo de los animales, y algunas plantas que habitan en los pantanos han desarrollado estilos de vida carnívoros que satisfacen sus necesidades de nitrógeno.

En un pantano de Carolina del Sur, una mosca desprevenida se posa sobre una planta aparentemente inofensiva (véase la imagen en el recuadro al inicio del capítulo), atraída por el néctar que recubre los bordes de las hojas con forma de concha de almeja. De repente, las hojas se cierran, presionando el cuerpo del insecto contra las glándulas digestivas que recubren sus superficies internas. Sus bordes con espigas embonan para atrapar al infortunado insecto. Durante los siguientes cuatro o cinco días, las enzimas digerirán a la mosca, y la hoja absorberá las moléculas que contienen nitrógeno antes de que su trampa se abra de nuevo para atraer a su siguiente víctima.

Cerca de ahí, un insecto alas de encaje se posa sobre un cúmulo de gotitas dulces y refulgentes sólo para encontrarse después luchando indefenso en medio de una masa pegajosa (**FIGURA 44-1**). Para empeorar la situación, unos tentáculos rojos con más esferitas de pegamento dulce se doblan hacia él para atraparlo sin remedio. Las enzimas en la secreción digerirán el cuerpo del insecto, y la planta, llamada rocío del sol, se dará un "festín" al absorber los nutrimentos ricos en nitrógeno.

Debajo de la superficie de la marisma, todavía tiene lugar otro drama. Una utricularia deja colgadas en el agua cientos de pequeñas cámaras con forma de pera, las cuales varían —dependiendo de la especie— desde un tamaño equivalente a una cabeza de alfiler hasta el de un guisante. Cada una de estas pequeñas "vejigas" está sellada con una puerta hermética cuyo borde inferior tiene cerdas. Un diminuto crustáceo (emparentado con el camarón, pero apenas visible para nosotros) nada y pasa rozando las cerdas. En 1/60 de segundo, el animal es atrapado por la vejiga, donde las enzimas lo matarán y digerirán poco a poco. Pero, ¿cómo logran estas plantas de rapiña moverse lo suficientemente rápido para atrapar animales que vuelan o nadan?

FIGURA 44-1 Una planta rocío del sol atrapa a un alas de encaje

44.1 ¿QUÉ SON LAS HORMONAS VEGETALES Y CÓMO ACTÚAN?

Las células de las plantas, igual que las de los animales, son fábricas en miniatura llenas de diversas sustancias que permiten a la planta responder correctamente a su ambiente. Algunas comunican mensajes dentro de la planta y otras incluso permiten la comunicación con otros individuos. Los zoólogos especialistas en fisiología reconocieron desde hace mucho que las células de una parte del organismo producen sustancias, llamadas **hormonas**, las cuales se transportan a otras partes del cuerpo donde tienen efectos específicos. De forma análoga, las sustancias que regulan a las plantas se denominan **hormonas vegetales**. Hasta ahora, los fisiólogos botánicos han identificado cinco clases principales de hormonas vegetales: *auxinas*, *giberelinas*, *citocininas*, *etileno* y *ácido abscísico* (tabla 44-1). Recientemente se han identificado varias hormonas más; una de ellas se parece a la aspirina y otra es un gas que también se utiliza como molécula mensajera en los animales. Aprenderás más acerca de estas hormonas en este mismo capítulo.

Cada hormona puede suscitar diversas respuestas de las células de la planta, dependiendo de factores como el tipo de célula blanco, la etapa de desarrollo de la planta, la concentración de la hormona y la presencia de otras hormonas. Además, el papel que desempeñan ciertas hormonas vegetales varía dependiendo de la especie. De manera que un fisiólogo botánico podría estudiar el papel de una hormona en una especie vegetal que crece fácil y rápidamente en el laboratorio, sólo para encontrar que no funciona de la misma forma en otras plantas. Esto no debe extrañarnos, ya que en las hormonas animales, que se han estudiado con mayor profundidad, también tienen diferentes efectos entre las especies. La hormona tiroxina, por ejemplo, ayuda al salmón a hacer la transición del agua dulce, donde nació, al agua salada; pero también contribuye a la metamorfosis que convierte un renacuajo en una rana adulta y al cambio de piel de una serpiente.

Tabla 44-1 Acciones hormonales en las plantas

Hormona	Funciones
Ácido abscísico	Cierre de los estomas; inhibición del crecimiento de la planta; control del estado latente de semillas y yemas.
Auxinas	Alargamiento de las células de coleóptilos y vástagos; fototropismo; gravitropismo en vástagos y raíces; crecimiento y ramificación de raíces; dominancia apical; desarrollo de tejidos vasculares; desarrollo de frutos; retraso de la senectud en las hojas y frutos; producción de etileno en frutos.
Citocininas	Promoción del brote de yemas laterales; retraso de la senectud de las hojas; promoción de la división celular; estimulación del desarrollo de frutos, endospermo y embrión.
Etileno	Maduración de los frutos; abscisión de frutos, flores y hojas; inhibición del alargamiento del tallo; formación de la curvatura en plántulas de dicotiledóneas.
Giberelinas	Germinación de semillas y brote de yemas; alargamiento de tallos; estimulación de la floración; desarrollo del fruto.

FIGURA 44-2 Los zarcillos muestran tigmotropismo
En respuesta al contacto, la auxina estimula un alargamiento desigual de las células en estos zarcillos de pepino, haciendo que se enreden alrededor de objetos cercanos como estacas o cercas del jardín o un tallo de pasto, como en este caso.

En este capítulo nos enfocaremos en las cinco principales categorías de hormonas vegetales, cuyos efectos se resumen aquí.

- Las **auxinas** constituyen un grupo de hormonas químicamente relacionadas. Promueven el alargamiento de las células de los coleóptilos y otras partes del vástago; una concentración alta hace que las células se alarguen (véase "Investigación científica: ¿Cómo se descubrieron las hormonas vegetales?"). En las raíces, que difieren de los tallos en su respuesta a la auxina, una concentración baja estimula el alargamiento, mientras que una concentración un poco más alta inhibe el alargamiento. Tanto la luz como la gravedad afectan a la distribución de auxinas en las raíces y en los vástagos, así que la auxina desempeña un papel importante tanto en el **fototropismo** (crecimiento hacia la luz; "tropismo" se refiere a una respuesta de orientación involuntaria a un estímulo) y el **gravitropismo** (crecimiento direccional respecto a la gravedad). El **tigmotropismo** (orientación en respuesta al tacto), en el que algunas plantas enredan sus zarcillos (hojas o tallos modificados) alrededor de estructuras de soporte, es estimulado por la auxina (FIGURA 44-2). Las auxinas afectan también a la diferenciación de los tejidos conductores (xilema y floema) y el desarrollo de los frutos. Además, la auxina podría evitar el brote de yemas laterales en un tallo. También estimula la ramificación de las raíces y se le puede utilizar para hacer que los tallos de las plantas produzcan raíces. La auxina sintética (2,4-D) se utiliza ampliamente para exterminar plantas dicotiledóneas, ya que altera el equilibrio normal entre la auxina y otras hormonas vegetales.
- Las **giberelinas** forman un grupo de moléculas químicamente similares que, al igual que la auxina, promueven el alargamiento de las células de los tallos. En algunas plantas, las giberelinas estimulan la floración, el desarrollo de frutos, la germinación de las semillas y el brote de las yemas.

- Las **citocininas** promueven la división celular en muchos tejidos vegetales; por ello, estimulan el brote de yemas y el desarrollo del fruto, el endospermo de la semilla y el embrión. También estimulan el metabolismo de la planta al retrasar el envejecimiento de sus partes, sobre todo de las hojas.
- El **etileno** es una hormona vegetal inusitada en cuanto a que es un gas a las temperaturas normales del ambiente. Su función más conocida, y la más valiosa comercialmente, es la maduración de los frutos. También estimula la separación de las paredes celulares para formar *capas de abscisión* que propician que las hojas, las flores y los frutos se caigan en el momento apropiado.
- El **ácido abscísico** es una hormona que ayuda a las plantas a resistir condiciones ambientales adversas. Como vimos en el capítulo 42, este compuesto hace que los estomas se cierren cuando escasea el agua. Hace disminuir el crecimiento de la planta en respuesta a condiciones de tensión. También ayuda a mantener el estado de latencia en las yemas y las semillas en momentos en que la germinación conduciría a la muerte. El ácido abscísico se nombró así con base en la hipótesis errónea de que provocaba la abscisión de las hojas.

En el resto del capítulo ilustraremos cómo las hormonas regulan su crecimiento y desarrollo durante el ciclo de vida de las plantas.

44.2 ¿CÓMO REGULAN LAS HORMONAS EL CICLO DE VIDA DE LAS PLANTAS?

El ciclo de vida de una planta es resultado de una compleja interacción de su información genética y su ambiente. Muchas hormonas actúan por influencia de la actividad de los genes, los cuales, a la vez, regulan el crecimiento y el desarrollo, así como casi todas las respuestas a factores ambientales. En cada etapa de su ciclo de vida, a menudo en respuesta a estímulos ambientales, las plantas producen un conjunto característico de hormonas que interactúan con los genes para dirigir el crecimiento, la maduración, la reproducción y el envejecimiento de la planta, es decir, su ciclo de vida.

El ciclo de vida de las plantas comienza con una semilla

El ácido abscísico mantiene el estado latente de las semillas

germinación. Esto requiere de fuertes lluvias y ayuda a garantizar que la germinación ocurra sólo cuando haya suficiente humedad (FIGURA 44-3).

La giberelina estimula la germinación

Otras hormonas, especialmente la giberelina, estimulan la germinación. En las semillas en germinación, la giberelina inicia la síntesis de enzimas que digieren las reservas alimenticias del endospermo y los cotiledones y proporcionan azúcares, lípidos y aminoácidos al embrión en crecimiento.

Para algunas plantas, donde hay humo, hay germinación

Incluso un paisaje ennegrecido por el fuego reverdecerá en unos cuantos años. Algunas especies vegetales prosperan en ecosistemas sometidos a frecuentes incendios. Algunas producen semillas recubiertas con resinas que requieren de altas temperaturas provocadas por el fuego para abrirse. Recientemente, fisiólogos botánicos descubrieron que en algunas especies, las señales químicas del humo estimulan la germinación. Al estudiar las campanas de susurros (*Emmenanthe penduliflora*), una planta que con frecuencia habita en los chaparrales que sufren continuos incendios, los investigadores encontraron que 30 segundos de exposición al humo iniciaba la germinación de la semilla. Aunque diferentes sustancias del humo estimulan la germinación en distintas especies, para las campanas de susurros, el dióxido de nitrógeno parece ser el "ingrediente activo". ¿Acaso el dióxido de nitrógeno promueve la síntesis de giberelina en estas semillas? Sólo las futuras investigaciones lo aclararán.

FIGURA 44-3 Un desierto en floración
Las flores amarillas son caléndulas del desierto; la lluvia las estimula a germinar en grandes cantidades. El ácido abscísico ayuda a mantener en estado de latencia a las plantas desérticas como ésta, asegurando que germinarán cuando haya agua disponible.

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA ¿Cómo se descubrieron las hormonas vegetales?

Cualquier persona que tenga en su casa plantas cerca de una ventana sabe que éstas, al crecer, se inclinan buscando la luz solar que penetra por ella. Hace más de cien años, Charles Darwin y su hijo, Francis, estudiaron este fenómeno de crecimiento hacia la luz, o fototropismo.

PRIMERO, LOS DARWIN DETERMINARON LA DIRECCIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN

Los Darwin iluminaron coleóptilos (vainas protectoras que envuelven a las plántulas de las monocotiledóneas) de pasto desde diversos ángulos. Observaron que una región del coleóptilo situada unos cuantos milímetros abajo de la punta se curvaba hacia la luz y hacía que la punta se orientara hacia la fuente de luz. Cuando cubrieron la punta del coleóptilo con un capuchón opaco, el coleóptilo no se inclinó.

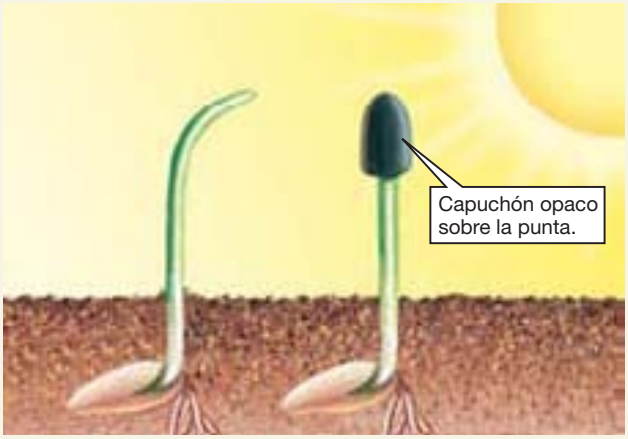


FIGURA E44-1 La punta no se dobla en la oscuridad

Un capuchón transparente permitía que el tallo se doblara y también se doblaba si la parte doblada debajo de la punta se cubría con un manguito opaco.

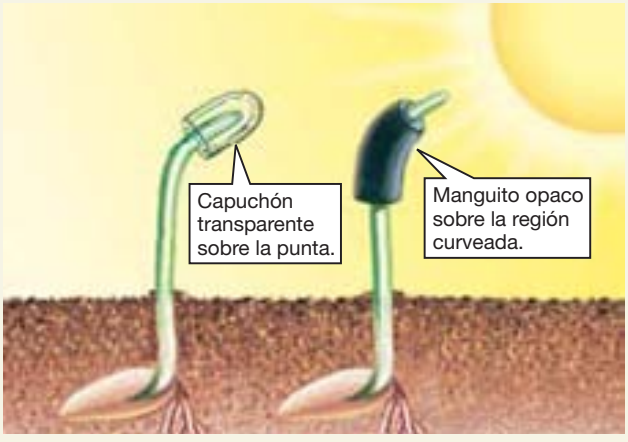


FIGURA E44-2 La punta percibe la dirección de la luz

Los Darwin concluyeron que la punta del coleóptilo percibe la dirección de la luz y que la flexión se efectúa más abajo en el coleóptilo. Esto sugiere que la punta transmite información acerca de la dirección de la luz a la región que se dobla. ¿Cómo se dobla el coleóptilo? Aunque los Darwin no lo sabían, la flexión es resultado de un alargamiento desigual de las células en lados opuestos del tallo. Las células del lado menos iluminado se alargan más rápidamente que las del lado iluminado y doblan el tallo hacia la luz. Así, la información transmitida de la punta a la región curva hace que las células se alarguen de forma desigual.

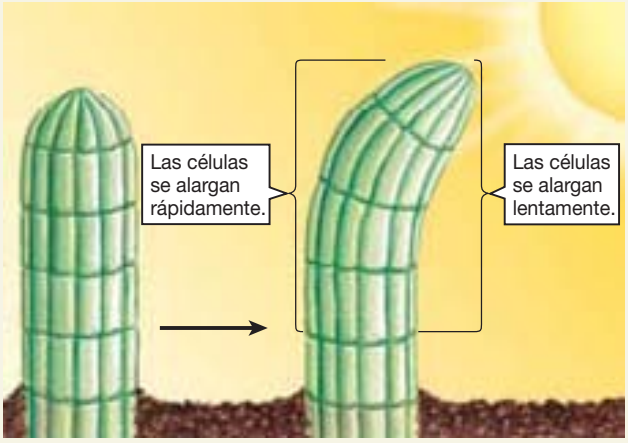


FIGURA E44-3 Las células se alargan en el lado sombreado

LUEGO, PETER BOYSEN-JENSEN DEMOSTRÓ QUE LA INFORMACIÓN ES DE NATURALEZA QUÍMICA

Unos 30 años después de los experimentos de los Darwin, en 1913, Peter Boysen-Jensen cortó las puntas de los coleóptilos y vio que el resto del tallo ni se alargaba ni se inclinaba hacia la luz. Si volvía a pegar la punta y colocaba el coleóptilo parchado en la oscuridad, se alargaba hacia arriba. En la luz, mostraba un fototropismo normal. Cuando insertó una capa delgada de gelatina porosa que impedía el contacto directo, pero permitía la difusión de sustancias entre la punta cercenada y el tallo, seguía observando alargamiento y flexión. En contraste, una barrera impenetrable eliminaba esas respuestas.

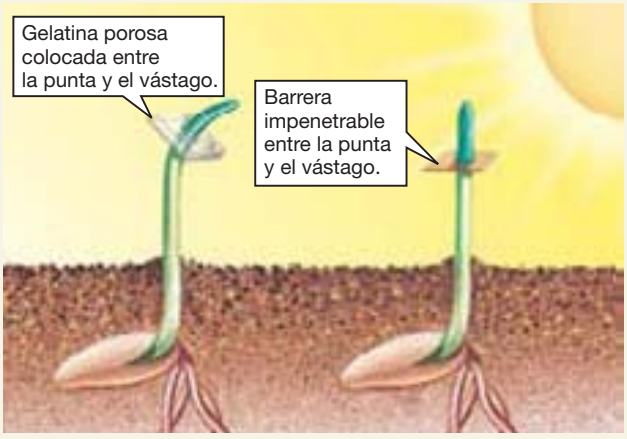


FIGURA E44-4 Una sustancia que permite la difusión promueve la flexión

Boysen-Jensen concluyó que en la punta se produce una sustancia que baja por el tallo y causa el alargamiento de las células. En la oscuridad, esa sustancia que hace que las células se alarguen se difunde verticalmente hacia abajo desde la punta y hace que el coleóptilo se alargue verticalmente hacia arriba. Era de suponer que la luz hace que la sustancia se concentre en el lado del tallo que está a la sombra, con lo que las células de ese lado se alargan más rápidamente que las del lado soleado; esto hace que el tallo se incline hacia la luz.

FINALMENTE, SE IDENTIFICÓ EL COMPUESTO AUXINA

El siguiente paso fue aislar e identificar la sustancia. En la década de 1920, Frits Went ideó una forma de recolectar la sustancia que promueve el alargamiento. Recortó las puntas de coleóptilos de avena y las colocó en un bloque de agar (un material gelatinoso poroso) durante unas horas. La hipótesis de Went era que la sustancia saldría de los coleóptilos y penetraría en el agar.

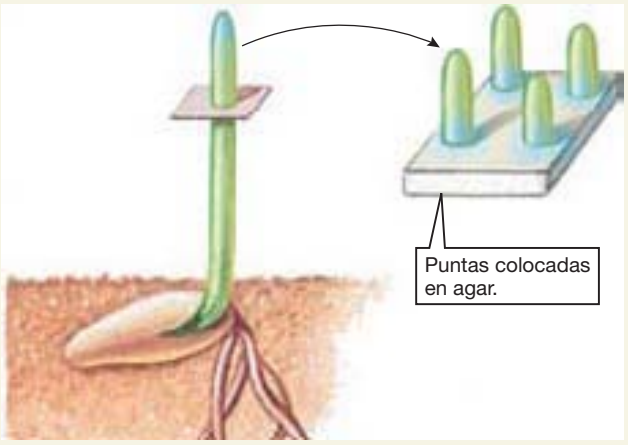


FIGURA E44-5 La sustancia de difusión se recolecta en agar

Luego, Went cortó trocitos del agar, ahora presumiblemente cargado de la sustancia, y los colocó en las puntas de plántulas a las que antes había cortado el coleóptilo y que estaban creciendo en la oscuridad. Cuando colocó un trozo de agar bien centrado en el tallo, éste se alargó verticalmente. Todas las células del tallo recibían cantidades iguales de la sustancia y se alargaban al mismo ritmo. Si colocaba un trocito en un lado del tallo cortado, éste siempre se inclinaba hacia el lado del agar.

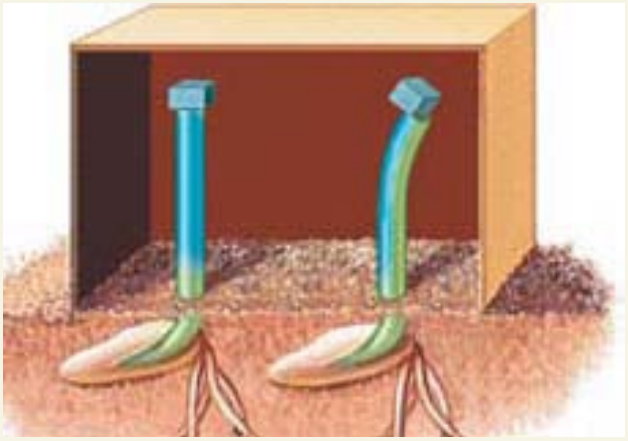


FIGURA E44-6 La sustancia de difusión provoca la flexión en la oscuridad

Era evidente que las células que estaban bajo el agar recibían más de la sustancia y, por consiguiente, más estímulo para alargarse. Went llamó a la sustancia *auxina*, de un vocablo griego que significa "crecimiento". Posteriormente, Kenneth Thimann purificó la auxina y determinó su estructura molecular.

La auxina controla la orientación de la plántula que brota

Cuando el embrión en crecimiento rompe el tegumento de la semilla, de inmediato enfrenta un problema crucial: ¿hacia dónde es "arriba"? Ya sea que la semilla haya sido enterrada por una ardilla o haya caído fortuitamente al suelo, la probabilidad de que esté "de cabeza" es elevada. Al parecer, la auxina controla las respuestas tanto de la raíz como del vástago a la luz y la gravedad. Como recordarás, las raíces embrionarias emergen primero, seguidas por el vástago.

La auxina estimula el alargamiento del vástago en oposición a la gravedad y hacia la luz

La auxina se sintetiza en la punta del vástago embrionario. Conforme emerge la punta de una semilla enterrada, la auxina baja y estimula el alargamiento de las células del tallo. Si el tallo está en posición horizontal, las células del tallo detectan la dirección de la gravedad y hacen que se acumule auxina en el lado inferior ( ). Así, las células inferiores se alargan rápidamente y obligan al tallo a curvarse hacia arriba. Una vez que la punta del vástago está vertical, la auxina se distribuye de manera equitativa y el tallo crece verticalmente para salir del suelo y llegar a la luz. El mismo efecto se observa también en plantas más viejas (**FIGURA 44-4c**).

La auxina funciona como intermediaria en el fototropismo, además del gravitropismo. Normalmente, la distribución de la auxina causada por la luz es la misma que la causada por la gravedad, porque la dirección de luz más brillante (la luz solar) es aproximadamente opuesta a la de la gravedad. Por ejemplo, si un vástago joven enterrado horizontalmente está lo bastante cerca de la superficie como para que le llegue algo de luz, tanto la luz como la gravedad harán que se transporte auxina al lado inferior del vástago y promoverán la curvatura hacia arriba. Así pues, el gravitropismo y el fototropismo funcionan juntos para hacer que el vástago crezca hacia arriba, en dirección a la luz. Las plantas colocadas sobre el alféizar de las ventanas demuestran claramente el fototropismo. (**FIGURA 44-4d**).

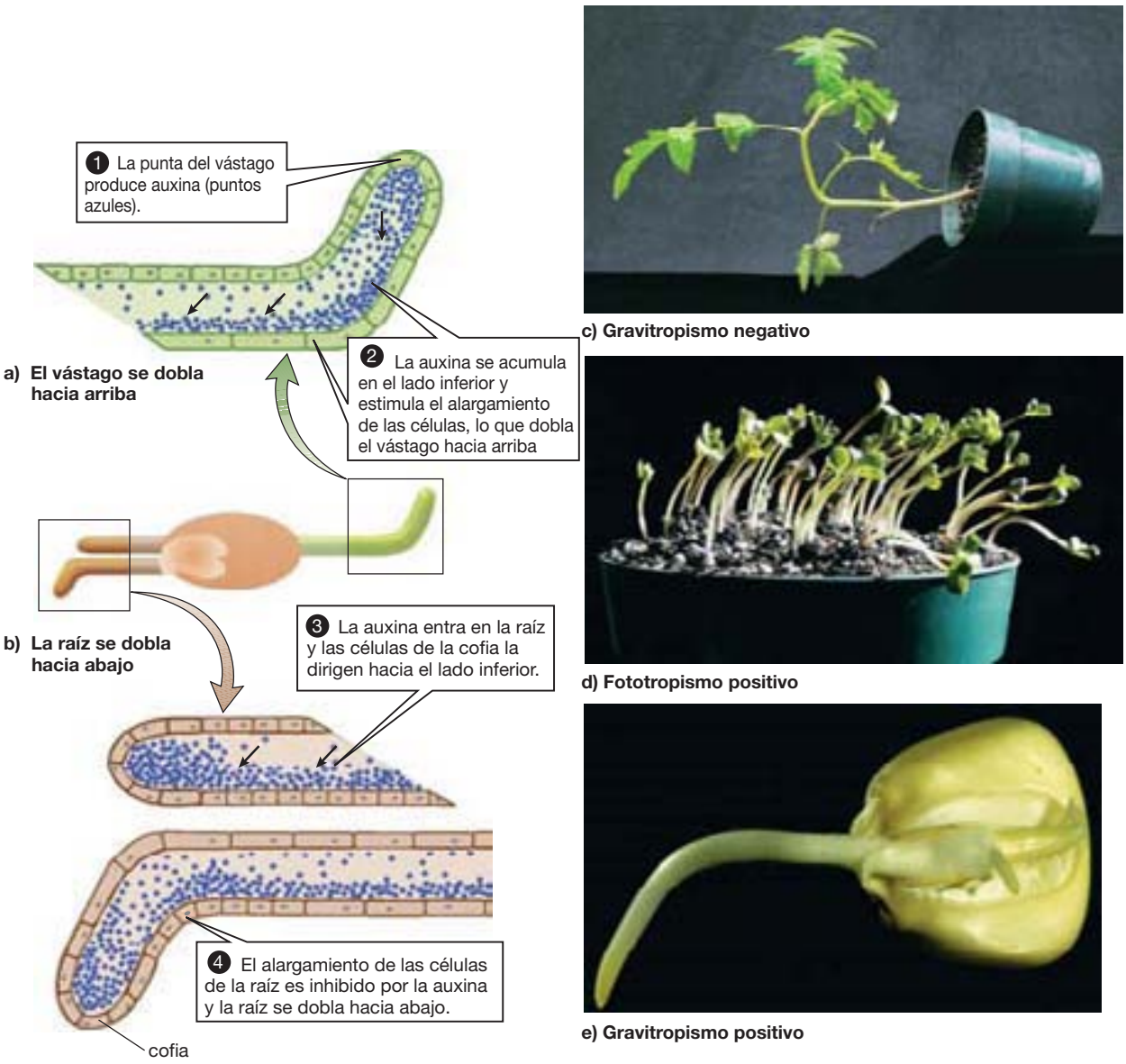

1 La punta del vástago produce auxina (puntos azules).
2 La auxina se acumula en el lado inferior y estimula el alargamiento de las células, lo que dobla el vástago hacia arriba
a) El vástago se dobla hacia arriba
3 La auxina entra en la raíz y las células de la cofia la dirigen hacia el lado inferior.
b) La raíz se dobla hacia abajo
4 El alargamiento de las células de la raíz es inhibido por la auxina y la raíz se dobla hacia abajo.
cofia
c) Gravitropismo negativo
d) Fototropismo positivo
e) Gravitropismo positivo

FIGURA 44-4 La auxina provoca el gravitropismo y el fototropismo
En ***a)*** y ***b)***, la auxina en el lado inferior del vástago y la raíz está distribuida de manera equitativa, pero con efectos opuestos. ***c)*** Esta planta de tomate crece en sentido contrario a la fuerza de gravedad (gravitropismo negativo) después de reposar de costado en la oscuridad por menos de un día. ***d)*** Estas semillas de rábano se doblan hacia la luz (fototropismo positivo). ***e)*** La raíz en desarrollo de este grano de maíz en germinación crece hacia abajo (gravitropismo positivo) después de que la semilla se coloca sobre un costado.

La auxina podría controlar la dirección del crecimiento de la raíz

perior de la raíz el alargamiento no se ve afectado. Esto hace que la raíz se doble hacia abajo (**FIGURA 44-4b** y **44-4e**). Una vez que la punta radicular apunta directamente hacia abajo, la distribución de auxina se equilibra en todos lados y la raíz sigue creciendo hacia abajo. Como la auxina reduce pero no detiene el alargamiento de las células de la raíz, ésta seguirá creciendo hacia abajo.

¿Cómo sienten las plantas la gravedad?

dos llenos de almidón en algunas células del vástago y la cofia informan a la planta acerca de cuál dirección es hacia arriba y cuál hacia abajo. Al teñir estos plástidos y observarlos al microscopio, los fisiólogos botánicos han descubierto que se quedan en la parte inferior de la célula y se establecen rápidamente en el "nuevo" lado inferior de la célula cuando la planta se coloca de costado (**FIGURA 44-5**).

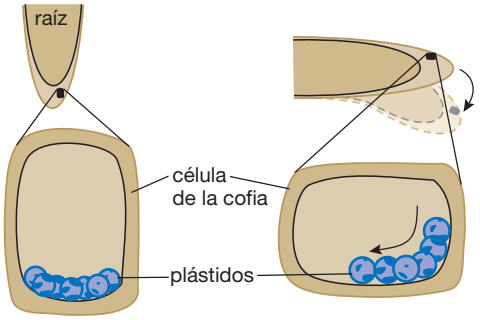


FIGURA 44-5 Los plástidos podrían ser detectores de la gravedad

¿Cómo es que los plástidos inician la respuesta a la gravedad? Una hipótesis es que los plástidos están enredados en fibras del citoesqueleto (véase el capítulo 4), que las conectan a canales de iones. Cuando la gravedad tira de los plástidos hacia abajo, la tracción abre los canales de iones, lo que permite el ingreso de éstos (probablemente iones calcio) en la célula. Así, un estímulo mecánico (el movimiento de plástidos) se puede convertir en un estímulo químico (mayor cantidad de calcio). Esta señal química podría iniciar una serie de reacciones que hacen que se acumule auxina en el lado inferior del vástago o la raíz. Los fisiólogos botánicos aún están probando estas hipótesis.

La forma genéticamente determinada de la planta adulta es resultado de interacciones hormonales

Conforme una planta crece, tanto su raíz como su vástago desarrollan patrones de ramificación que en buena medida están determinados por sus genes. Por ejemplo, los tallos de algunas plantas, como los girasoles, casi no se ramifican; otras, como los robles y los chopos, se ramifican profusamente, sin un patrón definido; otras más se ramifican siguiendo un patrón muy regular, como el que produce la forma cónica de los abetos y las piceas.

También se debe equilibrar la cantidad de crecimiento en los sistemas de vástago y de raíz. El vástago debe ser lo bastante grande como para abastecer a las raíces de azúcares; las raíces deben ser lo bastante grandes para proveer al vástago agua y minerales. Las interacciones entre auxina y citocinina regulan la ramificación de la raíz y el tallo; de esta forma, regulan los tamaños relativos de los sistemas de raíz y de vástago.

La punta del vástago produce auxina que inhibe la ramificación del tallo

Los jardineros saben que si podan o aplastan la punta de una planta en crecimiento, ésta se volverá más frondosa. La explicación botánica de esta práctica es que la punta en crecimiento suprime el vástago de yemas laterales para formar ramas, fenómeno llamado **dominancia apical**; la punta del vástago es el "ápice" de la planta y "domina" las yemas laterales inferiores (**FIGURA 44-6**). El mecanismo de control para el brote de yemas laterales sigue siendo tema de investigación, pero hay indicios de que deben estar presentes niveles y proporciones adecuados de auxina y citocinina. La auxina se produce en la punta del vástago (donde su concentración es máxima) y es transportada tallo abajo, disminuyendo su concentración gradualmente. La citocinina se produce en la punta de las raíces (donde su concentración es máxima) y es transportada tallo arriba. Por lo tanto, las concentraciones relativas de estas dos hormonas varían a lo largo del tallo y las raíces. Las yemas en las distintas posiciones experimentarán diferentes influencias hormonales.

Al parecer, la auxina por sí sola inhibe el brote de las yemas laterales, mientras que la auxina y la citocinina, en conjunto, lo estimulan. Las yemas laterales más cercanas a la punta del vástago reciben suficiente cantidad de auxina para inhibir su crecimiento, pero reciben muy poca citocinina porque están muy lejos de las raíces. Por ello, permanecen en estado latente. Las yemas más bajas reciben menos auxina, pero más citocinina. Las concentraciones óptimas de ambas hormonas estimulan esas yemas (**FIGURA 44-7**). En muchos tipos de plantas, esta interacción entre las proporciones de auxina y la citocinina produce una sucesión ordenada de brote de yemas desde la base del árbol hasta la punta del vástago. La

FIGURA 44-6 Dominancia apical
La planta de la derecha crece naturalmente, mientras que a la de la izquierda se le ha cortado la punta de crecimiento, lo que redujo los niveles de auxina en el tallo y permitió que las yemas laterales brotaran justo debajo del corte.

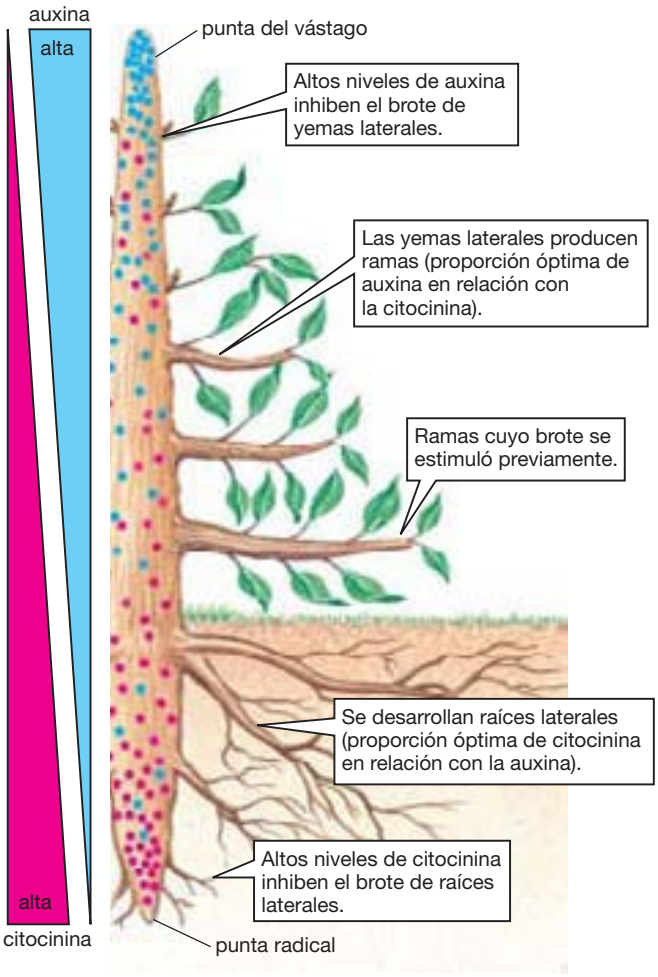

auxina
alta
punta del vástago
Altos niveles de auxina inhiben el brote de yemas laterales.
Las yemas laterales producen ramas (proporción óptima de auxina en relación con la citocinina).
Ramas cuyo brote se estimuló previamente.
Se desarrollan raíces laterales (proporción óptima de citocinina en relación con la auxina).
Altos niveles de citocinina inhiben el brote de raíces laterales.
alta
citocinina
punta radical

FIGURA 44-7 El papel de la auxina y la citocinina en el brote de yemas laterales
Las cantidades relativas de auxina (puntos azules) y citocinina (puntos rojos) controlan el brote de yemas laterales, así como la ramificación y el desarrollo de las raíces laterales. La auxina se produce en las puntas del vástago y se desplaza hacia abajo; la citocinina se produce en las puntas de las raíces y sube. PREGUNTA: Si se corta la punta del vástago de una planta y se aplica auxina a la superficie cortada, ¿cómo crees que responderían las yemas laterales?

proporción exacta entre citocinina y auxina que promueve los brotes varía según la especie.

La auxina estimula la ramificación de la raíz, mientras que la citocinina la inhibe

inhibe la ramificación de las raíces. Las raíces inferiores reciben más citocinina y menos auxina por parte de la punta del vástago, mientras que las raíces más cercanas a la superficie del suelo reciben más auxina y menos citocinina (véase la figura 44-7). Puesto que las raíces y los vástagos suministran nutrimentos complementarios (azúcar de los vástagos que realizan fotosíntesis, y agua y minerales de las raíces), es muy importante que su desarrollo sea equilibrado. A través de las acciones opuestas de la auxina y la citocinina en los vástagos y las raíces, los dos sistemas pueden regular entre sí su crecimiento.

La duración del día controla la floración

Los tiempos de floración y producción de semillas están coordinados de manera precisa con la fisiología de la planta y los rigores de su ambiente. En climas templados, las plantas deben florecer pronto para que sus semillas puedan madurar antes de las fuertes heladas del otoño. Dependiendo de la rapidez con que se desarrollan las semillas y los frutos, la floración podría presentarse en la primavera, como sucede con los robles; en el verano, como es el caso de la lechuga; o incluso en el otoño, como los ásteres.

¿Qué indicios ambientales usan las plantas para determinar la estación del año? Casi todos, como la temperatura o la disponibilidad de agua, son muy variables: quizá en octubre haga calor, o tal vez caiga una nevada tardía en mayo, o el verano podría ser inusitadamente frío y húmedo. El único indicador confiable es la duración del día: días más largos siempre implican que se acercan la primavera y el verano; días más cortos anuncian la llegada del otoño y el invierno.

Con respecto a la floración, los botánicos clasifican a las plantas como *neutrales respecto al día*, *de día largo* o *de día corto*. Una **planta neutral al día** florece tan pronto como ha crecido y se ha desarrollado lo suficiente, sin importar qué duración tenga el día. Este grupo incluye el tomate, el maíz, los dragoncillos y las rosas. Aunque sus nombres son de uso común, las plantas de día largo y de día corto se describen mejor como plantas *de noche corta* y *de noche larga*, respectivamente, porque su floración en realidad depende de la duración de la oscuridad continua y no de la duración del día (**FIGURA 44-8**). Las **plantas de noche corta** (como la lechuga, la espinaca, el lirio, el clavel y las petunias) florecen cuando la duración de la oscuridad es menor que el periodo crítico específico para la especie. Las **plantas de noche larga** (como ásteres, papas, soya, vara de San José y bardana menor) florecen cuando la duración de la oscuridad ininterrumpida es más larga que el periodo crítico específico para la especie. Así, la espinaca se clasifica como planta de noche corta porque sólo florece si la noche dura menos de 11 horas (su periodo crítico), y la bardana menor es una planta de noche larga porque florece sólo si la oscuridad ininterrumpida dura más de 8.5 horas. Ambas plantas florecerán con noches de 10 horas.

Los botánicos han logrado inducir la floración de la bardana menor exponiendo una sola hoja a noches largas (de mayor duración que las 8.5 horas de su periodo crítico) en una cámara especial, mientras el resto de la planta experimenta noches cortas. Es evidente que una señal que induce la floración debe viajar de la hoja a una yema de la flor. Los fisiólogos botánicos han intentado durante décadas aislar está elusiva molécula de señalización, a menudo llamada *florígena*

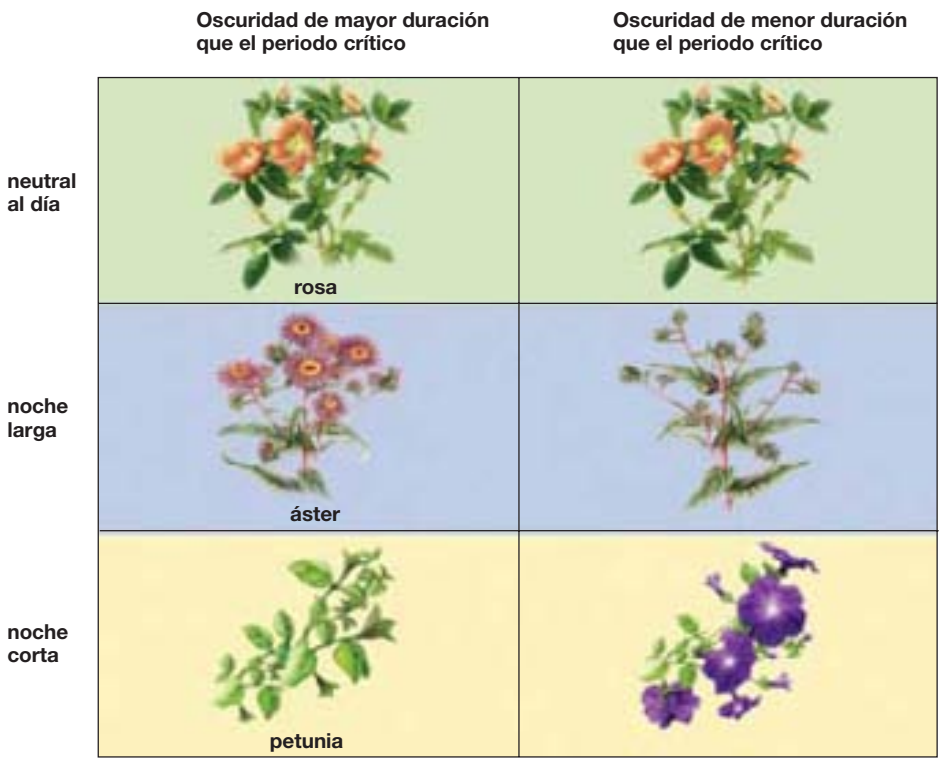


FIGURA 44-8 Los efectos de la duración de la noche en la floración

res creen que están muy cerca de descubrir una sustancia que estimula la producción de flores para un tipo específico de planta, utilizando la manipulación genética. Sin embargo, es probable que las interacciones entre múltiples y aún desconocidas hormonas estimulen o inhiban la floración y que estas sustancias varíen entre especies. Los investigadores han tenido más éxito al determinar cómo las plantas miden la duración de la oscuridad ininterrumpida, que es un estímulo crucial para producir las sustancias que controlan la floración, como se describe a continuación.

Pigmentos llamados fitocromos detectan la luz y ajustan el reloj biológico

Para medir la oscuridad continua, una planta necesita dos cosas: algún tipo de reloj metabólico para medir el tiempo (la duración de la oscuridad) y un sistema detector de luz para ajustar el reloj. Prácticamente todos los organismos tienen un **reloj biológico** interno que mide el tiempo incluso sin indicios ambientales. En la mayoría de los organismos, incluidas las plantas, no se comprende bien el mecanismo del reloj biológico. Pero sabemos que las claves ambientales, particularmente la luz, pueden ajustar el reloj. ¿Cómo detectan la luz las plantas?

El sistema detector de luz de las plantas es un pigmento en las hojas llamado **fitocromo** (que significa simplemente "color de planta"). Hay dos formas intercambiables del fitocromo. Una de ellas, la P_r, es inactiva y absorbe intensamente la luz roja. La otra forma, llamada P_{fr}, es activa y estimula o inhibe una respuesta en la planta a la luz. Esta forma activa absorbe luz del extremo del rojo del espectro de la luz (casi infrarroja), por lo que se le denomina fitocromo del extremo rojo (*far red*, de ahí el subíndice fr) (FIGURA 44-9

te en la forma activa P_{fr}; cuando el P_{fr} absorbe luz del extremo del rojo, se vuelve a convertir en P_r. En la oscuridad, el P_{fr} se convierte espontáneamente en la forma inactiva P_r. La luz solar consiste en todas las longitudes de onda de la luz visible, incluyendo el rojo y el extremo del rojo. Por consiguiente, durante el día, una hoja iluminada por el Sol contendrá ambas formas de fitocromo. Puesto que una cantidad razonable de P_{fr} estará presente en la luz solar, esta forma activa de fitocromo controlará las respuestas de la planta.

Al parecer, las plantas utilizan el sistema de fitocromo y su reloj biológico interno para detectar la duración de la oscuridad continua. Las bardanas, por ejemplo, florecen bajo un régimen de iluminación de 8 horas de luz y 16 horas de oscuridad, pero si el periodo oscuro se interrumpe con apenas uno o dos minutos de luz, no hay floración. Así, su floración está controlada por la duración de la oscuridad continua. Es evidente que incluso una breve exposición a la luz solar o a la luz blanca reajustará sus relojes biológicos. El color de la luz empleada para la iluminación nocturna también es importante. Un destello a media noche de luz roja inhibe la floración, pues convierte el P_r en la forma activa P_{fr}, que inhibe la floración. En contraste, un destello del extremo del rojo que produce el P_r inactivo no tiene efecto sobre la floración; es como si no se hubiera detectado luz. Esta observación implica al fitocromo en el control de la floración, aunque los científicos siguen investigando la forma en que la respuesta

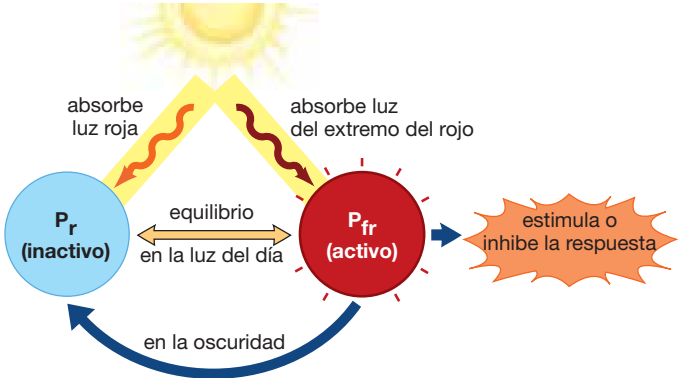


FIGURA 44-9 El fitocromo, pigmento fotosensible
El fitocromo existe en dos formas: inactiva (P_r) y activa (P_{fr}). En el día, las dos formas de fitocromo alcanzan el equilibrio, y la forma activa P_{fr} determina la respuesta. En la oscuridad, el P_{fr} se convierte espontáneamente en la forma inactiva P_r. Al absorber la luz roja, el P_r se convierte en la forma activa P_{fr}; al absorber luz del extremo del rojo, el P

del fitocromo a la luz determina si una planta producirá flores o no.

Los fitocromos influyen en otras respuestas de las plantas a su ambiente

El fitocromo interviene en otras respuestas de las plantas a la luz. Una acción del fitocromo es regular el alargamiento de la plántula después de la germinación. Los científicos han descubierto que el P_{fr} inhibe el alargamiento de las plántulas. Puesto que el P_{fr} se descompone o se revierte a P_r en la oscuridad, las plántulas que germinan en la oscuridad del suelo no contienen P_{fr} inhibidor y, por consiguiente, se alargan con gran rapidez para salir a la luz (**FIGURA 44-10**).

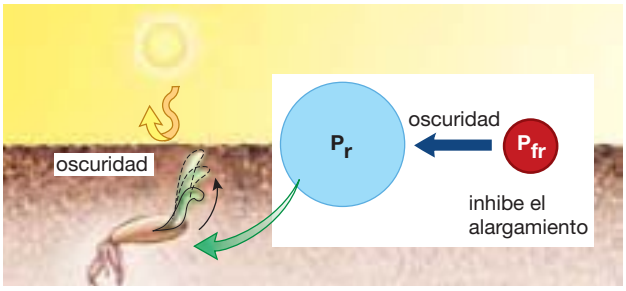


FIGURA 44-10 El P_{fr}, al disminuir, permite el alargamiento

Una vez que la planta sale a la luz, el fitocromo se ve expuesto a todas las longitudes de onda de la luz, incluida la luz roja, y algo del P_r se convierte en P_{fr}, el cual inhibe el alargamiento y evita que la plántula crezca muy rápidamente y se vuelva demasiado larga y delgada (**FIGURA 44-11**).

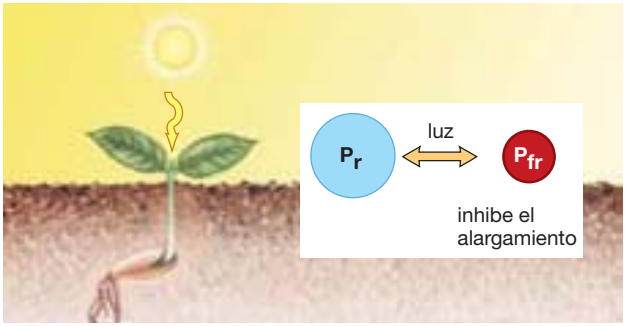


FIGURA 44-11 El P_{fr}, al aumentar, inhibe el alargamiento

Las plántulas que crecen a la sombra de otras plantas estarán expuestas primordialmente a luz del extremo del rojo, porque la clorofila verde en las hojas de las otras plantas encima de ellas absorbe casi toda la luz roja pero deja pasar la luz del extremo del rojo. Esta luz convierte el P_{fr} inhibidor en P inactivo, así que las plántulas en la sombra crecen rápidamente y así podrían salir de la sombra.

Otras respuestas de las plantas estimuladas por el P_{fr} son el crecimiento de las hojas, la síntesis de clorofila y el enderezamiento de la curvatura del epicótilo o hipocótilo en las plántulas de dicotiledóneas (véase el capítulo 43). Al igual que el alargamiento del tallo, estas respuestas son adaptaciones relacionadas con el hecho de estar enterrado en el suelo o con la sombra que proyectan las hojas de otras plantas. Por ejemplo, un vástago que recién germina necesita conservar su curvatura protectora mientras está en la tierra (es decir, en la oscuridad), y enderezarse sólo hasta que sale al aire, donde la luz solar convierte el P_r en P_{fr}.

Las hormonas coordinan el desarrollo de semillas y frutos

Después de la fecundación, las semillas en desarrollo liberan auxina o giberelina, o ambas, a los tejidos circundantes del ovario. Las citocininas, bajo la influencia de la auxina, promueven la división celular dentro del ovario y las semillas. Las células del ovario se multiplican y crecen; además, almacenan almidón y otros materiales alimenticios hasta formar un fruto maduro. Así, la planta coordina el desarrollo de las semillas y el fruto. El uso comercial más importante de la giberelina es en la producción de uvas. En Estados Unidos la giberelina se utiliza ampliamente en los cultivos de uvas verdes, que crecen más grandes y forman racimos más holgados como resultado (**FIGURA 44-12a**).

FIGURA 44-12 Usos comerciales de las hormonas vegetales
a) Las uvas de la derecha fueron rociadas con giberelina, lo que dio por resultado racimos de uvas más grandes y menos apretadas. ***b)*** Los plátanos que maduran naturalmente (izquierda) permanecen verdes durante más tiempo que aquellos expuestos al etileno (derecha).

FIGURA 44-13 Los frutos maduros se vuelven atractivos para los animales diseminadores de semillas
El fruto del nopal es verde, duro y amargo antes de madurar, lo que desalienta a los animales que podrían comerlo. Una vez que las semillas maduran, el fruto se vuelve blando, rojo y sabroso, lo que atrae a animales como esta tortuga del desierto. El tracto digestivo del animal no daña a las semillas maduras, que se dispersan con las heces. PREGUNTA: Los ingenieros agrícolas han desarrollado plantas de tomate genéticamente modificadas en las que se bloquea la producción de etileno. ¿Por qué tales plantas son valiosas para los cultivadores de tomate?

Las semillas y los frutos obtienen de su planta progenitora nutrimentos para crecer y desarrollarse. No debe extrañar que la maduración de las semillas y la de los frutos estén muy coordinadas. Casi todos los frutos que aún no están maduros tienen colores que pasan inadvertidos (normalmente verde, como el resto de la planta) y son duros, amargos e incluso, en algunos casos, venenosos. Por ello, los animales casi nunca comen frutos que no han madurado.

Una vez que las semillas maduran, también lo hace el fruto: se vuelve más suave porque las enzimas debilitan sus paredes celulares, más dulce porque los almidones se convierten en azúcar, y de color más brillante porque la verde clorofila se descompone conforme se sintetizan más pigmentos amarillos, anaranjados y rojos. Los colores brillantes hacen a los frutos más atractivos para los animales (**FIGURA 44-13**). Si caminamos por la sección de frutas y verduras del supermercado, veremos frutas de colores brillantes, ya que están adaptadas para atraer animales diseminadores de semillas.

En frutos como los plátanos, las manzanas, las peras, los tomates y los aguacates, los cambios que acompañan a la maduración son estimulados por el etileno. El etileno es sintetizado por las células de la fruta en respuesta a una elevación del nivel de auxina liberada por las semillas (un importante mecanismo para coordinar el desarrollo de las semillas y los frutos). Como el etileno es gaseoso, una fruta madura emite continuamente etileno al aire. En la naturaleza es probable que el efecto de esto sea insignificante, pero si se guardan frutas en un recipiente cerrado, el etileno liberado por una acelerará la maduración de las demás. El descubrimiento del papel del etileno en la maduración revolucionó la comercialización moderna de frutas y verduras. Los plátanos que se cultivan en América Central se pueden cortar cuando están verdes y duros para enviarse a los mercados norteamericanos. Al llegar a su destino, los comerciantes los exponen a etileno y pueden vender fruta perfectamente madura (véase la **FIGURA 44-12b**). Pero no todos los frutos maduran correctamente si se les separa de la planta. Las fresas, por ejemplo, no maduran en presencia de etileno, así que es preciso dejar que maduren en la planta; es muy difícil lograr que las frutas suaves y maduras lleguen a los mercados sin deteriorarse. Aunque los tomates verdes maduran cuando se les rocía etileno, nunca tienen el mismo sabor de aquellos que maduraron en la planta.

La senectud y el estado de latencia preparan a la planta para el invierno

En otoño los frutos maduran y caen al suelo, poniéndolos a la disposición de los animales que los comerán y luego dispersarán las semillas. En el caso de las plantas perennes de hoja ancha, también es necesario perder las hojas porque en invierno representarían una carga: no podrían efectuar fotosíntesis, pero sí permitirían la evaporación del agua. Las hojas, los frutos y las flores sufren un envejecimiento rápido llamado **senectud**.

La senectud es un proceso complejo controlado por varias hormonas distintas. En casi todas las plantas, las hojas sanas y las semillas en desarrollo producen auxina, que ayuda a mantener la salud de hojas o frutos. Simultáneamente, las raíces sintetizan citocinina, que sube por el tallo y llega a las ramas. La citocinina también evita la senectud. (Las flores cortadas que se compran en la florería a menudo fueron rociadas con citocinina para mantenerlas frescas durante más tiempo). Pero al acercarse el invierno, la producción de citocinina en las raíces disminuye y los frutos y hojas producen menos auxina. Mientras tanto, las hojas viejas y los frutos maduros liberan etileno, el cual estimula la senectud de las hojas; durante ese periodo las proteínas, los almidones y la clorofila se descomponen en moléculas simples, las cuales son transportadas a las raíces y otros tejidos permanentes de la planta como provisión para el invierno. La senectud concluye con la formación de la **capa de abscisión** en la base del pecíolo que une la hoja con el tallo (**FIGURA 44-14**). El etileno estimula esta capa de células de paredes delgadas para que produzcan una enzima que destruye sus paredes celulares. Cuando el lugar de unión

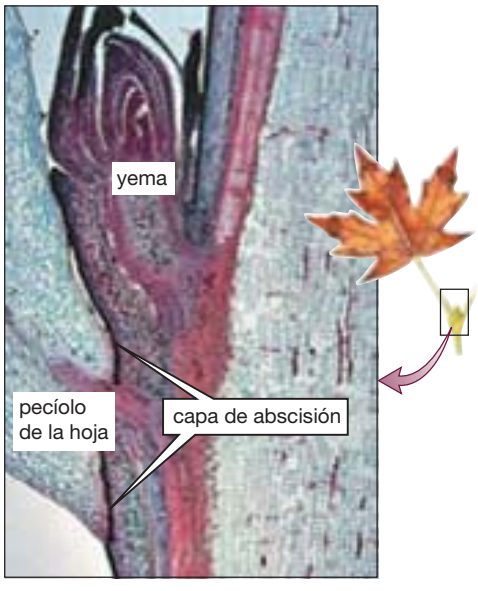


FIGURA 44-14 La capa de abscisión
Este corte transversal muestra la capa de abscisión que se forma en la base de una hoja de arce. Una nueva yema foliar es visible por encima de la hoja a punto de morir.

del pecíolo se debilita lo suficiente, la hoja o el fruto cae al suelo. El papel del etileno en la caída de las hojas condujo a su descubrimiento. En el siglo XIX se instalaron lámparas en las ciudades alemanas, y los residentes pronto observaron que las plantas cercanas a las tuberías de gas con fugas, que suministraban el etileno para las lámparas, mostraban un crecimiento anormal y perdían sus hojas prematuramente. A principios del siglo XX, un fisiólogo botánico ruso realizó pruebas con todos los componentes del "gas de iluminación" y descubrió que el etileno era responsable de tales efectos.

También se presentan otros cambios que preparan a la planta para el invierno. Las nuevas yemas, en vez de convertirse en hojas y ramas como habrían hecho durante la primavera y el verano, ahora se envuelven apretadamente y entran en estado de latencia, en espera de que pase el invierno. El estado de latencia de las yemas, como el de las semillas, está determinado por el ácido abscísico. El metabolismo se vuelve sumamente lento y la planta inicia su largo "sueño" invernal, en espera de las señales del calor y los días más largos de la primavera para volver a "despertar".

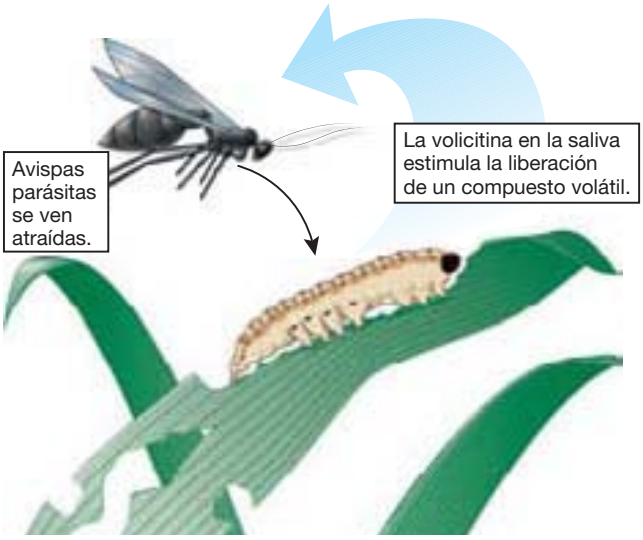


FIGURA 44-15 Un "grito de auxilio" de naturaleza química

44.3 ¿LAS PLANTAS PUEDEN COMUNICARSE Y MOVERSE RÁPIDAMENTE?

Las plantas llaman a los "guardianes" cuando son atacadas

La guerra de cien millones de años entre las plantas y sus parásitos y depredadores ha conducido a la evolución de complejos sistemas de defensa que sorprenden a la gente acostumbrada a pensar en las plantas como organismos pasivos e indefensos. Los investigadores que estudian cómo las plantas responden al ataque de los depredadores o a los virus causantes de enfermedades han descubierto recientemente que aquellas que son atacadas se protegen a sí mismas —y algunas veces también ayudan a proteger a sus vecinas— liberando sustancias volátiles al aire circundante en lo que podría llamarse un "grito de auxilio" de naturaleza química. Al trabajar con maíz dulce, los investigadores descubrieron que en respuesta al ataque de orugas hambrientas, estas plantas liberan una mezcla de sustancias volátiles. Las avispas han desarrollado un mecanismo de detección de esas sustancias volátiles, probablemente porque señalan la presencia de orugas, las cuales constituyen una fuente de alimento para su descendencia. Las avispas depositan sus huevecillos en el cuerpo de las orugas, donde las larvas se rompen y consumen a sus huéspedes de adentro hacia fuera. Los científicos descubrieron que el solo hecho de romper las hojas de la planta de maíz dulce no suscita la señal de alarma química; este ataque a la planta debe provenir de una oruga verdadera. Una sustancia llamada *volicitina* en la saliva de la oruga hace que el maíz libere las sustancias volátiles (**FIGURA 44-15**

tabaco. Al conocer estas aparentemente ingeniosas estrategias, no debemos olvidar que evolucionaron en forma gradual porque se vieron favorecidas por la selección natural.

Las plantas podrían advertir a sus vecinos y a su descendencia de los ataques

Si las plantas atacadas pueden solicitar ayuda, ¿sus vecinos percibirán el mensaje y se prepararán para un potencial ataque? Existen evidencias de que muchos tipos de plantas (incluida la cebada, el sauce, el aliso y el abeto) advierten a miembros de su propia especie de un ataque; la advertencia activa las defensas en los individuos sanos, haciéndolos más capaces de defenderse. Esta comunicación también podría cruzar los límites de las especies. La artemisa lesionada libera grandes cantidades de sustancias volátiles; los investigadores descubrieron que las plantas de tabaco silvestre plantadas en lugares adonde llega el viento proveniente de la artemisa lesionada tienen menos probabilidad de sufrir ataques de insectos que aquellas que crecen en zonas donde da el viento que proviene de plantas sanas de artemisa; esto apoya la hipótesis de que las señales químicas transportadas por el aire de las plantas de artemisa lesionadas activan los mecanismos de defensa en las plantas de tabaco. Asimismo, las plantas de frijol peruano dañadas parecen activar las defensas en las plantas cercanas de pepino.

Los investigadores que estudian plantas de rábano atacadas por larvas de mariposa encontraron que producen mayor cantidad de una sustancia de sabor amargo y más pelos defensivos en sus hojas. Cuando estas plantas mejor defendidas se reprodujeron, sus plántulas fueron menos atractivas para los depredadores que las plántulas descendientes de plantas que no sufrieron ataques. Esto apoya la hipótesis de que las plantas no sólo se defienden a sí mismas, sino también transmiten una señal química dentro de sus semillas, lo que propicia el desarrollo de mejores defensas en su descendencia.

Muchas plantas producen *ácido salicílico*

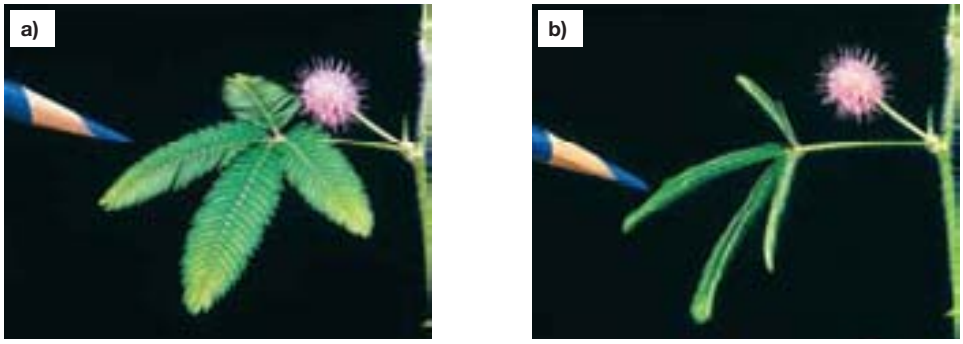


FIGURA 44-16 Una rápida respuesta al contacto
a) Una hoja de sensitiva (*Mimosa*) consta de pequeñas hojas que salen de un pedúnculo central, unido al tallo principal mediante un pequeño pecíolo. ***b)*** El contacto hace que las hojas se cierren y el pecíolo se incline.

encontraron que las plantas de tabaco infectadas con un virus producen grandes cantidades de ácido salicílico. A la vez, el ácido salicílico activa una respuesta inmunitaria en las plantas, ayudándolas a luchar contra el ataque viral. La planta también convierte parte del ácido salicílico en *salicilato de metilo* (utilizado para dar sabor a algunos dulces). Este compuesto altamente volátil se difunde en el aire desde los tejidos de la planta infectada con virus y es absorbido por las plantas cercanas. Las plantas saludables vecinas vuelven a convertir el salicilato de metilo en ácido salicílico, lo que refuerza sus defensas inmunitarias y las hace más capaces de resistir la infección viral.

Como explica Ilya Raskin, "las plantas no pueden salir corriendo ni hacer ruido, pero son químicas maravillosas". Es probable que los químicos humanos aprendan de las plantas y puedan fabricar sustancias químicas que permitan a los agricultores del futuro proteger sus cultivos de los depredadores y las enfermedades utilizando sustancias naturales en vez de pesticidas tóxicos.

Algunas plantas se mueven rápidamente

Todas las plantas están vivas (como se describió en el estudio de caso), pero algunas son más activas que otras. Unas cuantas plantas realizan movimientos rápidos coordinados por señales eléctricas que se parecen a los impulsos nerviosos de los animales. Entre ellas se encuentran el rocío del sol (véase la figura 44-1), la sensitiva y la Venus atrapamoscas (descrita en "Otro vistazo al estudio de caso: ¿Plantas de rapiña?"; véase la fotografía al inicio de este capítulo).

Las hojas de rocío del sol están cubiertas con vellosidades largas y glandulares cuyas puntas secretan gotitas de un complejo brebaje que contiene néctar dulce, una sustancia pegajosa y enzimas que digieren proteínas. Un insecto atraído por el néctar queda atrapado por las gotitas pegajosas y lucha por escapar. Las vibraciones que produce abren canales en las vellosidades, dando paso a un flujo de iones que genera una corriente eléctrica. Esta señal eléctrica, por un mecanismo desconocido, hace que las vellosidades se doblen hacia la fuente de las vibraciones. El insecto queda cada vez más embrollado hasta ser digerido y absorbido por esos apéndices sorprendentes. Si tocamos una sensitiva (*Mimosa*), sus hojas inmediatamente se doblan y su pecíolo se inclina (**FIGURA 44-16**) en la base de cada hojita y en el pecíolo, que se une con el tallo. A medida que los iones salen de las células motrices, el agua los sigue por ósmosis. Conforme las células se encogen a causa de la pérdida de agua, tanto las hojitas como los pecíolos se inclinan rápidamente.

La planta más rápida del mundo es la utricularia, una planta depredadora que atrapa a las criaturas acuáticas que nadan rápido y representan provisiones de nitrógeno. La trampa de la utricularia es una maravilla de la evolución que no depende de señales eléctricas para atrapar a su presa. La puerta de su vejiga hueca tiene una bisagra en la parte superior, la cual se abre hacia dentro y está sellada herméticamente por secreciones pegajosas. Cualquier gotita de agua que se filtre al interior es expulsada por las células glandulares que recubren la vejiga. Esto produce una presión hidráulica ligeramente menor en el interior que tira de las paredes hacia dentro, dándoles una forma cóncava. Las duras cerdas protegen la puerta sellada. Si una pequeña presa choca con las cerdas, éstas actúan como palancas, empujando la puerta flexible hacia dentro y rompiendo el sello (**FIGURA 44-17**). La menor presión en el interior hace que el agua entre por succión de inmediato, conduciendo a la presa a la muerte.

FIGURA 44-17 Una utricularia atrapa a su presa
Las pálidas vejigas en esta utricularia (género *Utricularia*) son claramente visibles. En la imagen del recuadro se observa una vejiga amplificada, que contiene tres crustáceos atrapados en su interior.

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO PLANTAS DE RAPIÑA

La Venus atrapamoscas (véase la fotografía al inicio de capítulo) también utiliza impulsos eléctricos para atrapar a su presa. Cada una de sus hojas posee tres "pelos" sensores en su superficie interna. El néctar atrae a los insectos que chocan con ellos, estimulando un flujo de iones y una señal eléctrica similar a la que utilizan la planta rocío del sol, la sensitiva y las células nerviosas de los animales. Esa señal inicia una rápida cadena de acontecimientos, los cuales provocan que la trampa se cierre en medio segundo. La pregunta es ¿cómo lo logra?

Este problema de "ingeniería" de la planta recientemente captó la atención de Lakshminarayanan Mahadevan, un investigador de Harvard, especialista en matemáticas aplicadas y mecánica, cuyos estudios condujeron a una nueva hipótesis acerca de cómo se cierran las hojas de la atrapamoscas. Su equipo de investigación pintó manchas fluorescentes en muchos lugares de las hojas de la atrapamoscas y luego siguió el rastro de las manchas con una cámara de video de alta velocidad mientras las hojas se cerraban. Utilizando estos datos, los investigadores diseñaron una simulación en computadora del proceso y concluyeron que un par de hojas de la atrapamoscas parecían una pelota de tenis que se hubiera dividido casi en mitades, con el interior de cada mitad vuelto hacia fuera. La leve presión puede hacer que las mitades de la pelota de tenis tomen de nuevo su forma cóncava al cerrarse. Los investigadores piensan que las hojas abiertas de la atrapamoscas están bajo un tipo similar de tensión, probablemente a causa de la compresión de las células en la capa central del mesófilo. Si un insecto roza las vellosidades, hace que esas células absorban agua rápidamente y se hinchen, y que cada hoja cambie de una forma levemente convexa a levemente cóncava para cerrarse con el insecto dentro (**FIGURA 44-18**).

Esto sugiere que las hojas abiertas almacenan energía potencial que es liberada cuando se cierran. Si crees que abrir las hojas es un proceso lento y que requiere de mucha energía, estás en lo correcto. Reabrir la trampa toma varias horas y consume grandes cantidades de ATP. Así que es muy importante que en verdad haya algo nutritivo en la hoja antes de que se cierre. De manera sorprendente, la planta ha desarrollado un mecanismo "a prueba de fallas" que generalmente evita que se cierre cuando dentro hay un objeto inanimado. Para activar la trampa, un pelo debe ser tocado dos veces en rápida sucesión, o bien, dos pelos deben ser tocados casi simultáneamente.

Pero la atrapamoscas aún guarda misterios. ¿Cómo "saben" los pelos sensores cuáles han sido tocados y qué tan rápidamente? ¿Cómo transforman el estímulo de toque en una señal eléctrica? ¿Cómo logra la señal eléctrica hacer que las células absorban agua? Como sucede con frecuencia en biología, la respuesta a una pregunta inmediatamente sugiere varias preguntas más; la ciencia es una búsqueda sin fin hacia una comprensión más profunda.

FIGURA 44-18 ¡Todo un éxito!

Piensa en esto Muchas zonas pantanosas en Estados Unidos se encuentran amenazadas por las aguas de escurrimiento de las granjas agrícolas cercanas, que contienen grandes cantidades de fertilizantes o están saturadas de desechos animales. Las plantas carnívoras prosperan en ciénagas pobres en nitrógeno, en parte porque otras especies, incapaces de atrapar alimentos ricos en nitrógeno, no pueden competir con ellas. Explica por qué las aguas de escurrimiento de esas granjas agrícolas representan una amenaza para las plantas carnívoras en las zonas pantanosas cercanas.

REPASO DEL CAPÍTULO

RESUMEN DE CONCEPTOS CLAVE

44.1 ¿Qué son las hormonas vegetales y cómo actúan?

Las hormonas vegetales son sustancias producidas por las células de una parte de la planta que, al ser transportadas a otras partes del cuerpo de la planta, ejercen efectos específicos. Las cinco clases principales de hormonas vegetales son auxinas, giberelinas, citocininas, etileno y ácido abscísico. Las principales funciones de estas hormonas se resumen en la tabla 44-1.

44.2 ¿Cómo regulan las hormonas el ciclo de vida de las plantas?

El ácido abscísico impone el estado de latencia de las semillas. Niveles descendentes de ácido abscísico y niveles ascendentes de giberelina activan la germinación. A medida que crece la plántula, muestra crecimiento diferencial respecto a la dirección de la luz (fototropismo) y la gravedad (gravitropismo). La auxina sirve de intermediaria en el fototropismo y el gravitropismo en los vástagos y el gravitropismo en las raíces. En los vástagos, la auxina estimula el alargamiento de las células; en las raíces, concentraciones similares de auxina inhiben el alargamiento. Al parecer, las plantas detectan la gravedad mediante plástidos que contienen almidón. La auxina hace que algunas plantas se enreden alrededor de objetos cercanos (tigmotropismo).

La ramificación de los tallos y las raíces es resultado de la interacción de dos hormonas, auxina (que se produce en las puntas del vástago y se transporta hacia abajo) y citocinina (que se sintetiza en las raíces y se transporta hacia arriba). Una concentración óptima de ambas sustancias estimula el crecimiento de las yemas laterales y la ramificación de las raíces.

Los tiempos de la floración normalmente se controlan con base en la duración de la oscuridad. Hormonas llamadas *florígenas*, aún no descritas del todo, probablemente estimulen y también inhiban la floración. Al parecer, las plantas detectan la luz y la oscuridad a través de cambios en el fitocromo, un pigmento de las hojas. Entre los procesos de la planta en los que influyen las respuestas del fitocromo a la luz están la floración, el enderezamiento de la curvatura del epicótilo o hipocótilo, el alargamiento de las plántulas, el crecimiento de las hojas y la síntesis de clorofila.

Las semillas en desarrollo producen auxina y/o giberelina, que se difunde hacia los tejidos circundantes del ovario y causa el desarrollo del fruto. Un incremento en la producción de auxina cuando la semilla madura estimula las células del fruto para que liberen otra hormona, el etileno, que hace que el fruto madure. Ello incluye la conversión de almidones en azúcar, el ablanda-

miento del fruto, la aparición de colores llamativos y, comúnmente, la formación de una capa de abscisión en la base del pecíolo.

Varios cambios preparan a las plantas perennes de climas templados para el invierno. Las hojas y frutos sufren un proceso de envejecimiento rápido llamado senectud, que incluye la formación de una capa de abscisión. La senectud es resultado de una baja en los niveles de auxina y citocinina y, quizá, una elevación en las concentraciones de etileno. Otras partes de la planta, como las yemas, entran en estado de latencia, obligadas por concentraciones altas de ácido abscísico.

Web tutorial 44.1 Hormonas vegetales

Web tutorial 44.2 El fitocromo, un pigmento fotosensible

Web tutorial 44.3 Respuestas de las plantas a los estímulos

44.3 ¿Las plantas pueden comunicarse y moverse rápidamente? Algunas plantas, al ser atacadas por insectos, liberan sustancias al aire circundante que atrae a insectos depredadores de los primeros. Los compuestos volátiles liberados por plantas atacadas o infectadas podrían estimular a las plantas vecinas para producir sustancias que les ayuden a protegerse de la depredación o las infecciones.

Algunas plantas pueden moverse rápidamente. En la Venus atrapamoscas y la sensitiva, los sensores de tacto en las hojas generan señales eléctricas que provocan un flujo de iones; esto, a la vez, hace que células especializadas absorban o pierdan agua rápidamente. Los cambios en el tamaño de esas células hacen que las hojas se muevan o que el pecíolo se incline. La utricularia acuática genera una menor presión dentro de su vejiga, lo que sirve para succionar a la presa.

TÉRMINOS CLAVE

ácido abscísico *pág. 911*
auxina *pág. 910*
capa de abscisión *pág. 919*
citocinina *pág. 911*
dominancia apical *pág. 915*
etileno *pág. 911*
fitocromo *pág. 917*
fototropismo *pág. 910*
giberelina *pág. 910*
gravitropismo *pág. 910*
hormona *pág. 910*
hormona vegetal *pág. 910*
planta de noche corta *pág. 916*
planta de noche larga *pág. 916*
planta neutral al día *pág. 916*
reloj biológico *pág. 917*
senectud *pág. 919*
tigmotropismo *pág. 910*

RAZONAMIENTO DE CONCEPTOS

1. ¿Cómo contribuyeron los Darwin, Boysen-Jensen y Went a nuestra comprensión del fototropismo? ¿Sus experimentos realmente demuestran que la auxina es la hormona que controla el fototropismo? ¿Qué otros experimentos crees que convendría efectuar?
2. ¿Cuál hormona mantiene la dominancia apical? ¿Cuál hormona conserva el estado de latencia de las semillas?
3. ¿Cómo puede una hormona, la auxina, hacer que el vástago crezca hacia arriba y la raíz hacia abajo?
4. ¿Qué es la dominancia apical? ¿Cómo interactúan la auxina y la citocinina al determinar el crecimiento de las yemas laterales?
5. ¿Qué es un reloj biológico?
6. ¿Qué es el sistema de fitocromo? ¿Cómo interactúan sus dos formas para controlar el ciclo de vida de las plantas?
7. Describe el papel del fitocromo en el alargamiento del vástago de una semilla germinada enterrada. ¿Cuál es el significado adaptativo de esta respuesta?
8. ¿Qué hormonas causan el desarrollo de los frutos? ¿Qué hormona causa la maduración de los frutos?
9. ¿Qué hormona está implicada en la conservación del estado de latencia de las yemas? ¿En la caída de las hojas y los frutos?
10. ¿Cuál es un uso comercial importante de la giberelina? ¿Del etileno?
11. Describe un ejemplo de un mecanismo de defensa química en las plantas.
12. Describe cómo la sensitiva cierra sus hojas. ¿Por qué habrá evolucionado para llegar a este comportamiento?
13. ¿Cuál es la ventaja del comportamiento depredador en las plantas? ¿Qué tipos de hábitat favorecen este comportamiento y por qué?

APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Supongamos que consigues trabajo en un invernadero cuyo dueño está tratando de iniciar la floración de crisantemos (una planta de noche larga) para el Día de las Madres. Sin querer, enciendes la luz a media noche. ¿Es probable que pierdas el empleo? ¿Por qué? ¿Qué sucedería si encendieras las luces durante el día?
2. Una estudiante, en su informe de un proyecto, dijo que una de sus semillas no creció adecuadamente porque se le plantó de cabeza y, confundida, trató de crecer hacia abajo. ¿Crees que el profesor acepte la explicación? ¿Por qué?
3. Los germinados de frijol (soya), como los que a veces comemos en ensaladas, se deben cultivar en la oscuridad para que formen sus tallos largos. Si se cultivaran en la luz, serían cortos y verdes. ¿Por qué las plántulas crecen largas y descoloridas en la oscuridad? ¿Qué ventajas tiene el crecimiento en la oscuridad en la naturaleza?
4. Supón que, el 4 de julio, descubres que tanto una planta de noche larga como una de noche corta han floreado en tu jardín. Comenta cómo es posible que ambas florezcan.
5. Supón que trabajas en un laboratorio con un invernadero bien equipado, plantas sanas de tomate, gusanos cornudos por docena y un gran abasto de avispas parásitas que atacan a los gusanos cornudos. Diseña un estudio controlado que apoye o refute la hipótesis de que las plantas de tomate, al igual que el maíz dulce, pueden llamar a las avispas cuando son atacadas por los gusanos carnudos. Asegúrate de controlar en el experimento otros tipos de ataque.

PARA MAYOR INFORMACIÓN

Farmer, E. E. "New Fatty Acid-Based Signals: A Lesson from the Plant World". *Science*, 9 de mayo de 1997. El autor describe la investigación que condujo al descubrimiento de la volicitina, la cual atrae a las avispas parásitas a las plantas atacadas por orugas.

Hansen, E. "Where Rocks Sing, Ants Swim, and Plants Eat Animals". *Discover*, octubre de 2001. Los investigadores exploran las plantas carnívoras en Borneo.

Mlot, C. "Where There's Smoke, There's Germination". *Science News*, 31 de mayo de 1997. Los investigadores descubrieron que el dióxido de nitrógeno producido por los incendios puede inducir la germinación en las plantas que viven en ecosistemas donde los incendios son comunes.

Moffatt, A. S. "How Plants Cope with Stress". *Science*, 1 de noviembre de 1994. La hormona "sistemina", similar a las hormonas animales, capacita a las plantas para responder al estrés.

Russell, S. A. "Talking Plants". *Discover*, abril de 2002. Este artículo es un resumen claro y ameno de la investigación que documenta la comunicación química entre las plantas.

Saunders, F. "Keep the Aspirin Flying". *Discover*, enero de 1998. El autor describe cómo las plantas utilizan el salicilato de metilo para ayudar a las plantas cercanas a resistir la infección.

Selim, J. "Snap, Crackle, and Pop!" *Discover*, mayo de 2005. Las computadoras arrojan nueva luz sobre cómo las hojas de la Venus atrapamoscas se cierran.

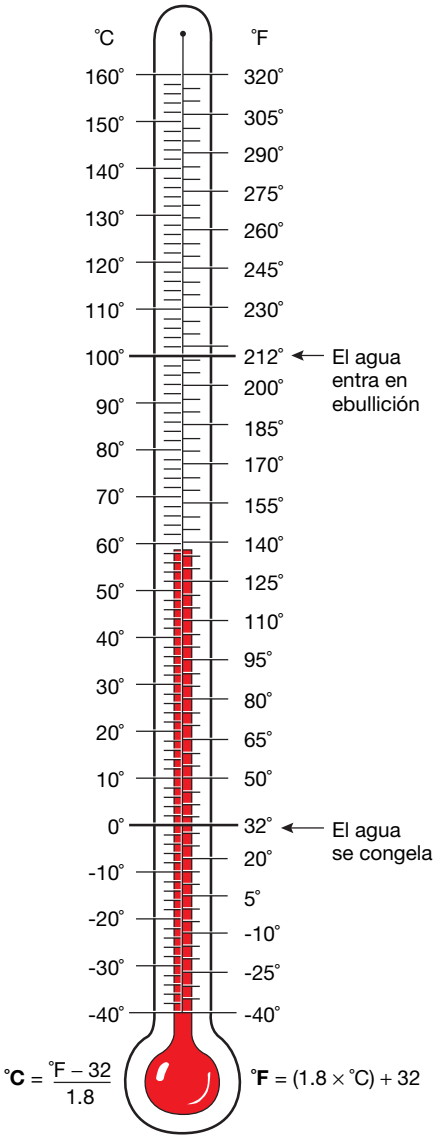
APÉNDICE I
Conversiones del sistema métrico

Para convertir unidades métricas:	Multiplica por:	Para obtener el equivalente en el sistema inglés:
	Longitud	
centímetros (cm)	0.3937	pulgadas (in)
metros (m)	3.2808	pies (ft)
metros (m)	1.0936	yardas (yd)
kilómetros (km)	0.6214	millas (mi)
	Área	
centímetros cuadrados (cm^2)	0.155	pulgadas cuadradas (in^2)
metros cuadrados (m^2)	10.7639	pies cuadrados (ft^2)
metros cuadrados (m^2)	1.1960	yardas cuadradas (yd^2)
kilómetros cuadrados (km^2)	0.3831	millas cuadradas (mi^2)
hectáreas (ha) (10,000 m^2)	2.4710	acres (a)
	Volumen	
centímetros cúbicos (cm^3)	0.06	pulgadas cúbicas (in^3)
metros cúbicos (m^3)	35.30	pies cúbicos (ft^3)
metros cúbicos (m^3)	1.3079	yardas cúbicas (yd^3)
kilómetros cúbicos (km^3)	0.24	millas cúbicas (mi^3)
litros (L)	1.0567	cuartos de galón (qt), EUA
litros (L)	0.26	galones (gal), EUA
	Masa	
gramos (g)	0.03527	onzas (oz)
kilogramos (kg)	2.2046	libras (lb)
toneladas métricas (t)	1.10	toneladas (tn), EUA
	Rapidez	
metros/segundo (m/s)	2.24	millas/hora (m/h)
kilómetros/horas (km/h)	0.62	millas/hora (m/h)

Para convertir unidades inglesas:	Multiplica por:	Para obtener el equivalente en el sistema métrico:
	Longitud	
pulgadas (in)	2.54	centímetros (cm)
pies (ft)	0.3048	metros (m)
yardas (yd)	0.9144	metros (m)
millas (mi)	1.6094	kilómetros (km)
	Área	
pulgadas cuadradas (in^2)	6.45	centímetros cuadrados (cm^2)
pies cuadrados (ft^2)	0.0929	metros cuadrados (m^2)
yardas cuadradas (yd^2)	0.8361	metros cuadrados (m^2)
millas cuadradas (mi^2)	2.5900	kilómetros cuadrados (km^2)
acres (a)	0.4047	hectáreas (ha) (10,000 m^2)
	Volumen	
pulgadas cúbicas (in^3)	16.39	centímetros cúbicos (cm^3)
pies cúbicos (ft^3)	0.028	metros cúbicos (m^3)
yardas cúbicas (yd^3)	0.765	metros cúbicos (m^3)
millas cúbicas (mi^3)	4.17	kilómetros cúbicos (km^3)
cuartos de galón (qt), EUA	0.9463	litros (L)
galones (gal), EUA	3.8	litros (L)
	Masa	
onzas (oz)	28.3495	gramos (g)
libras (lb)	0.4536	kilogramos (kg)
toneladas (tn), EUA	0.91	toneladas métricas (t)
	Rapidez	
millas/hora (mi/h)	0.448	metros/segundo (m/s)
millas/hora (mi/h)	1.6094	kilómetros/hora (km/h)

Prefijos métricos

Prefijo		Significado	
giga-	G	10^9 =	1,000,000,000
mega-	M	10^6 =	1,000,000
kilo-	k	10^3 =	1000
hecto-	h	10^2 =	100
deca-	da	10^1 =	10
		10^0 =	1
deci-	d	10^{-1} =	0.1
centi-	c	10^{-2} =	0.01
mili-	m	10^{-3} =	0.001
micro-	μ	10^{-6} =	0.000001



APÉNDICE II

Clasificación de los principales grupos de organismos*

Dominio	Reino	Filum	Nombre común
Bacteria (procariotas, peptidoglicano en la pared celular)			**bacterias**
Archaea (procariotas, sin peptidoglicano en la pared celular)			**arqueas**
Eukarya (eucariotas)		Rhodophyta	algas rojas
		Chlorophyta	algas verdes
		euglénidos	euglenids
		foraminíferos	forams
	Excavata		**excavados**
		parabasálidos	parabasalids
		diplomónadas	diplomonads
	Amoebozoa		**amebozoos**
		Gymnamoebae	amibas lobosas
		Acrasiomycota	mohos deslizantes celulares
	Alveolata		**alveolados**
		Apicomplexa	esporozoos
		Pyrrophyta	dinoflagelados
		Ciliophora	ciliados
	Stramenopila		**estramenópilos**
		Oomycota	mohos acuáticos
		Phaeophyta	algas pardas
		Bacillariophyta	diatomeas
	Plantae		**plantas**
	(multicelulares, fotosintetizadores)	Bryophyta	musgos
		Pteridophyta	helechos
		Coniferophyta	plantas perennifolias
		Anthophyta	plantas con flor
	Fungi		**hongos**
	(multicelulares, heterótrofos, absorben nutrimentos)	Chytridiomycota	quítridos
		Zygomycota	zigomicetos
		Ascomycota	hongos de saco
		Basidiomycota	hongos de clava
	Animalia		**animales**
	(multicelulares, heterótrofos, ingieren nutrimentos)	Porifera	esponjas
		Cnidaria	hidras, anémonas de mar, medusas y corales
		Ctenophora	ctenóforos
		Platyhelminthes	gusanos planos
		Nematoda	gusanos cilíndricos
		Annelida	gusanos segmentados
		Oligochaeta	lombrices de tierra
		Polychaeta	gusanos tubulares
		Hirudinea	sanguijuelas
		Arthropoda	artrópodos ("patas articuladas")
		Insecta	insectos
		Arachnida	arañas, garrapatas
		Myriapoda	milpiés y ciempiés
		Crustacea	cangrejos, langostas
		Mollusca	moluscos ("de cuerpo blando")
		Gastropoda	caracoles
		Pelecypoda	mejillones, almejas
		Cephalopoda	calamares, pulpos
		Echinodermata	estrellas de mar, erizos y pepinos de mar
		Chordata	cordados
		Urochordata	tunicados
		Cephalochordata	pez espada
		Myxini	mixinos
		Vertebrata	vertebrados
		Pertromyzontiformes	lampreas
		Chondrichthyes	tiburones, rayas
		Actinopterygii	peces óseos
		Actinistia	celacantos
		Dipnoi	peces pulmonados
		Amphibia	ranas, salamandras
		Reptilia	tortugas, serpientes, lagartos, cocodrilos y aves
		Mammalia	mamíferos

* Esta tabla muestra sólo las categorías taxonómicas que se describen en el texto.

APÉNDICE III

Vocabulario de biología: raíces, prefijos y sufijos de uso común

La biología contiene un extenso vocabulario, a menudo derivado de los idiomas griego y latín. Por eso, en vez de tener que memorizar cada palabra como si fuera parte de un nuevo idioma, es más recomendable descubrir el significado de los nuevos términos a partir de las raíces, los prefijos y los sufijos de uso común en biología. A continuación incluimos los significados más comunes empleados en biología dejando a un lado las traducciones literales del griego o el latín. Para cada vocablo que aparece en la lista se da la siguiente información: significado, función de la palabra (si es raíz, prefijo o sufijo) y un ejemplo de su uso en biología**.**

a–, an–, e–: sin, carencia de (prefijo); *abiótico*, sin vida.

acro–: cima, lo más alto (prefijo); *acrosoma*, vesícula de enzimas en la punta de un espermatozoide.

ad–: a (prefijo); *adhesión*, propiedad de adherirse a algo.

alo–: otro (prefijo); *alopátrico* (literalmente, "patria diferente"), restringido a regiones diferentes.

anfi–: ambos, doble, dos (prefijo); *anfibio*, clase de vertebrados que generalmente tienen dos etapas vitales (acuática y terrestre; por ejemplo, un renacuajo y una rana adulta.)

andro: hombre, masculino (raíz); *andrógeno*, una hormona masculina como la testosterona.

antero–: al frente (prefijo o raíz); *anterior*, hacia el frente de.

anti–: contra (prefijo); *antibiótico* (literalmente "contra la vida"), una sustancia que mata las bacterias.

apic–: cima, lo más alto (prefijo); *meristemo apical*, conglomerado de células en división en la punta del vástago o la raíz de una planta.

artro–: articulación (prefijo); *artrópodo*, animales como las arañas, cangrejos e insectos, con exoesqueletos que incluyen patas articuladas.

–asa: enzima (sufijo); *proteasa*, enzima que digiere proteínas.

auto–: mismo (prefijo); *autotrófico,* que se alimenta a sí mismo (por ejemplo, los organismos fotosintéticos).

bi–: dos (prefijo); *bípedo*, que tiene dos pies.

bio: vida (raíz); *biología*, el estudio de la vida.

blast: yema, precursor (raíz); *blástula*, etapa embrionaria del desarrollo, esfera hueca de células.

bronco–: tráquea (raíz); *bronquio*, ramificación de la tráquea que va al pulmón.

carcin, –o: cáncer (raíz); *carcinogénesis*, el proceso de desarrollar cáncer.

cardio: corazón (raíz); *cardiaco*, referente al corazón.

carni–: carne (prefijo o raíz); *carnívoro*, animal que se alimenta de otros animales.

centi–: un centésimo (prefijo); *centímetro*, unidad de longitud equivalente a la centésima parte de un metro.

cefalo–: cabeza (prefijo o raíz); *cefalización*, tendencia a localizar el sistema nervioso principalmente en la cabeza.

–cida: exterminador (sufijo); *pesticida*, sustancia química que aniquila a las "pestes" (por lo general, insectos).

cloro–: verde (prefijo o raíz); *clorofila*, en las plantas, el pigmento verde que absorbe la luz.

condro–: cartílago (prefijo); clase *Chondrichthyes* de vertebrados, incluidos los tiburones y las mantas, con esqueleto formado de cartílago.

cromo–: (prefijo o raíz); *cromosoma*, estructura filamentosa de DNA y proteína en el núcleo de una célula (*cromosoma,* literalmente significa "cuerpo coloreado," porque los cromosomas absorben algo de los tintes empleados comúnmente en la microscopía).

–clasto: romper, disolver (raíz o sufijo); *osteoclasto*, célula que disuelve el hueso.

co–: con o junto con (prefijo); *cohesión*, propiedad de reunirse o adherirse.

celo–: cavidad (prefijo o raíz); *celoma*, la cavidad corporal que separa los órganos internos de la pared corporal.

contra–: contra (prefijo); *contracepción*, acto que evita la concepción (o embarazo).

corteza (*córtex*): tronco, capa exterior (raíz); *corteza,* capa externa del riñón.

cráneo–: cabeza (prefijo o raíz); *craneocerebral,* perteneciente al cráneo y el cerebro.

cuad–, cuatri–: cuatro (prefijo); *estructura cuaternaria*, el "cuarto nivel" de la estructura proteínica en la cual las múltiples cadenas peptídicas forman una estructura tridimensional compleja.

cuti: piel (raíz); *cutícula*, cubierta exterior de una hoja.

cito–: célula (raíz o prefijo); *citocinina*, hormona vegetal que promueve la división celular.

des–: desde, remover (prefijo); *descomponedor*, organismo que desdobla (o descompone) la materia orgánica.

dendron–: en forma de árbol, ramificado (raíz); *dendritas*, estructuras que se ramifican a partir de las células nerviosas.

derma: piel, capa (raíz); *ectodermo*, la capa celular más externa del embrión.

deutero–: segundo (prefijo); *deuterostoma* (literalmente, "segunda abertura"), animal en el cual el celoma se deriva del intestino.

di–: dos (prefijo); *dicotiledónea*, angiosperma con dos cotiledones en la semilla.

diplo–: ambos, doble, dos (prefijo o raíz); *diploide*, que tiene pares de cromosomas homólogos.

dis–: difícil, doloroso (prefijo); *disfunción*, incapacidad para funcionar adecuadamente.

ecto–: afuera (prefijo); *ectodermo*, la capa más externa del embrión de los animales.

–elo: pequeño, chico (sufijo); *organelo* (literalmente, "órgano pequeño"), estructura subcelular que lleva a cabo una función específica.

endo–: dentro, interior (prefijo); *endocrino*, perteneciente a una glándula que secreta hormonas dentro del organismo.

epi–: fuera, exterior (prefijo); *epidermis*, la capa más externa de la piel.

equi–: igual (prefijo); *equidistante*, la misma distancia.

eritro–: rojo (prefijo); *eritrocito*, glóbulo rojo.

escler–, esclero–: duro, resistente (prefijo); *esclerénquima*, tipo de célula vegetal con una pared celular gruesa y dura.

esperma–, espermato–: semilla (raíz, por lo general); *gimnosperma*, tipo de planta que produce una semilla que no está encerrada en un fruto.

estasis– esta–: estacionario, fijo (sufijo o prefijo); *homeóstasis*, proceso fisiológico por medio del cual se mantienen constantes las condiciones internas a pesar de los cambios ambientales externos.

estoma: boca, orificio (prefijo o raíz); *estoma,* el poro ajustable en la superficie de una hoja que permite la entrada del dióxido de carbono.

eu–: verdadero, bueno (prefijo); *eucariótico*, perteneciente a una célula con núcleo verdadero.

ex– (o exo–): fuera de (prefijo); *exocrino*, perteneciente a una glándula que secreta una sustancia (por ejemplo, sudor) hacia el exterior del organismo.

extra–: fuera de (prefijo); *extracelular*, fuera de la célula.

fago–: comer (prefijo o raíz); *fagocito*, célula que come otras células (por ejemplo, algunos tipos de glóbulos rojos).

–fer: contener, llevar (sufijo); *conífera*, árbol que contiene conos.

filo–: amar (prefijo o sufijo); *hidrófilo* (literalmente, "amante del agua"), perteneciente a una molécula soluble en agua.

filo: hoja (raíz o sufijo); *clorofila*, pigmento verde que absorbe la luz en una hoja.

fito–: planta (raíz o sufijo); *gametofito* (literalmente, "planta gameto"), etapa en el ciclo vital de una planta en la que se producen gametos.

fobo–, –fobo: temer (prefijo o sufijo); *hidrófobo* (literalmente, "temor al agua"), perteneciente a una molécula insoluble en agua.

gastro–: estómago (prefijo o raíz); *gástrico*, perteneciente al estómago.

gen: producir (prefijo, sufijo o raíz); *antígeno*, sustancia que causa que el organismo produzca anticuerpos.

gine–: femenino (prefijo o raíz); *ginecología*, el estudio del tracto reproductor femenino.

haplo–: solo, individual (prefijo); *haploide*, que posee una sola copia de cada tipo de cromosoma.

hemo– (o hemato–): sangre (prefijo o raíz), *hemoglobina*, molécula de los glóbulos rojos que contiene oxígeno.

hemi–: mitad (prefijo); *hemisferio*, una de las mitades del cerebro.

hetero–: otro (prefijo); *heterotrófico*, organismo que se alimenta de otros organismos.
hom–, homo–, homeo–: lo mismo (prefijo); *homeostasis*, mecanismo que permite mantener constantes las condiciones internas de un organismo ante las condiciones externas cambiantes.
hidro–: agua (generalmente prefijo); *hidrofílico*, que es atraído por el agua.
hiper–: sobre, mayor que (prefijo); *hiperosmótico*, que tiene mayor fuerza osmótica (por lo general con una mayor concentración de soluto).
hipo–: debajo, menor que (prefijo); *hipodermis*, debajo de la piel.
inter–: entre (prefijo); *interneurona*, neurona que recibe información de una (o más) neuronas y la envía a otra neurona (o a muchas más).
intra–: dentro (prefijo); *intracelular*, se refiere a un suceso o sustancia dentro de la célula.
iso–: igual (prefijo); *isotónico*

itis: inflamación (sufijo); *hepatitis*, inflamación (o infección) del hígado.
leuco–: blanco (prefijo); *leucocito*, glóbulo blanco.
lipo–: grasa (prefijo o raíz); *lípido*

logos: estudio de (sufijo); *biología*
lisis: aflojar, separar (raíz o sufijo); *hidrólisis*, descomposición del agua.
macro–: grande (prefijo); *macrófago*, glóbulo blanco grande que destruye las células invasoras extrañas.
médula: médula, sustancia intermedia (raíz); *médula renal*, capa interior del riñón.
mero: segmento, sección corporal (sufijo); *sarcómero*, unidad funcional de una célula muscular del esqueleto de un vertebrado.
meso–: mitad (prefijo); *mesófilo*, capas intermedias de células en una hoja.
meta–: cambio, después de (prefijo); *metamorfosis*, cambio en la forma de un cuerpo (por ejemplo, de larva a una forma adulta).
micro–: pequeño (prefijo); *microscopio*, aparato que permite observar objetos diminutos.
mili–: un milésimo (prefijo); *milímetro*, unidad de medida de longitud equivalente a la milésima parte de un metro.
mito–: filamento (prefijo); *mitosis*, división celular (en la cual los cromosomas parecen cuerpos filamentosos).
mono–: uno, único (prefijo); *monocotiledónea*, tipo de angiosperma con un solo cotiledón en la semilla.
morfo–: forma, configuración (prefijo o raíz); *polimorfo*, que tiene múltiples formas.
multi–: muchos (prefijo); *multicelular*, perteneciente a un cuerpo compuesto por más de una célula.
mio–: músculo (prefijo); *miofibrilla*, filamento de proteína en las células musculares.
neo–: nuevo (prefijo); *neonatal*, aquello que se relaciona con un recién nacido.
nefro–: riñón (prefijo o raíz); *nefrona*, unidad funcional del riñón de mamífero.
neumo–: pulmón (raíz); *neumonía*, enfermedad del pulmón.
neuro–: nervio (prefijo o raíz); *neurona*, célula nerviosa.
oligo–: pocos (prefijo); *oligómero*, molécula formada de pocas subunidades (véase también *poli*).
omni–: todo (prefijo); *omnívoro*, animal que come tanto plantas como animales.
oo–, **ov–, ovo–:** huevo (prefijo); *ovocito*, una de las etapas del desarrollo de un huevo.
ops–: vista, visión (prefijo o raíz); *opsina*, parte proteínica del pigmento que absorbe la luz en el ojo.
opso–: alimento sabroso (prefijo o raíz); *opsonización,*

osis: condición o enfermedad (sufijo); *aterosclerosis*, enfermedad en la cual las paredes arteriales se engruesan y se endurecen.
osteo–: hueso (prefijo o raíz); *osteoporosis*, enfermedad en la cual los huesos se vuelven esponjosos y frágiles.

pater–: padre (generalmente raíz); *paternal*, relacionado con el padre.
pato–: enfermedad (prefijo o raíz); *patología*, el estudio de la enfermedad y del tejido enfermo.
–patía: enfermedad (sufijo); *neuropatía*, enfermedad del sistema nervioso.
peri–: alrededor (prefijo); *periciclo*, la capa de células más externa del cilindro vascular de la raíz de una planta.
–plasma: sustancia formada (raíz o sufijo); *citoplasma*, material que está en el interior de la célula.
ploide: cromosomas (raíz); *diploide*, que tiene cromosomas apareados.
–pod: pie (raíz o sufijo); *gastrópodo* (literalmente, "pie–estómago"), una clase de moluscos, principalmente caracoles, que reptan sobre su superficie ventral.
poli–: muchos (prefijo); *polisacárido*, un polímero carbohidrato compuesto de muchas subunidades de azúcares.
post–, **postero–:** detrás de (prefijo); *posterior*, perteneciente a la parte trasera.
pre–, pro–: antes, al frente de (prefijo); *mecanismo de aislamiento del pre–apareamiento*, mecanismo que evita el flujo de genes entre las especies e impide el apareamiento (por ejemplo, tener rituales o temporadas de apareamiento diferentes).
prim–: primero (prefijo); *pared celular primaria*, la primera pared celular formada entre las células de la planta durante la división celular.
pro–: antes (prefijo); *procariótica*, perteneciente a una célula sin núcleo (que evolucionó antes del desarrollo del núcleo).
proto–: primero (prefijo); *protocélula*, ancestro evolutivo hipotético de la célula primitiva.
pseudo–, seudo–: falso (prefijo); *pseudópodo* o *seudópodo* (literalmente, "falso pie"), extensión de la membrana plasmática por medio de la cual algunas células, como la amiba, se mueven y capturan la presa.
ren–: riñón (raíz); *adrenal*, glándula adherida al riñón en los mamíferos.
retro–: hacia atrás (prefijo); *retrovirus*, virus que usa el RNA como su material genético; este RNA debe copiarse "hacia atrás" del DNA durante la infección de una célula por el virus.
sarco–: músculo (prefijo); *retículo sarcoplásmico*, retículo endoplásmico modificado que almacena calcio y que se encuentra en las células musculares.
semi–: mitad (prefijo); *duplicación semiconservadora*, mecanismo de duplicación del DNA, por el cual una cadena de la doble hélice del DNA original se llega a incorporar en la nueva doble hélice del DNA.
–soma–, somato–: cuerpo (prefijo o sufijo); *sistema nervioso somático*, parte del sistema nervioso periférico que controla los músculos esqueléticos que mueven al cuerpo.
sub–: abajo, debajo de (prefijo); *subcutáneo*, debajo de la piel.
sim–: igual, el mismo (prefijo); *simpátrico* (literalmente, "el mismo padre"), que se encuentra en la misma región.
testis: testigo (raíz); *testículos*, órgano reproductor masculino (palabra derivada de la costumbre en la antigua Roma de que solamente los hombres podían ser testigos (*testis*) ante la ley; *testimonio* tiene la misma raíz.
termo–: calor (prefijo o raíz); *termorregulación*, proceso por el cual se regula la temperatura corporal.
trans–: a través (prefijo); *transgénico*, que tiene genes de otro organismo (generalmente de otra especie); los genes se movieron "a través" de especies.
tri–: tres (prefijo); *triploide*, que tiene tres copias de cada cromosoma homólogo.
trofo: alimento, nutriente (raíz); *autótrofo*, que se alimenta a sí mismo (por ejemplo, los organismos fotosintéticos).
–tropo: cambio, giro (sufijo); *fototropismo*, proceso por el cual las plantas se orientan hacia la luz.
ultra–: más allá (prefijo); *ultravioleta*, luz con longitudes de onda más allá del violeta.
uni–: uno (prefijo); *unicelular*, organismo compuesto de una sola célula.
vita: vida (raíz); *vitamina*, molécula indispensable en la dieta para preservar la vida.
–voro: comer (raíz, por lo general); *herbívoro*, animal que se alimenta de plantas.
zoo–: animal (raíz, por lo general); *zoología*, el estudio de los animales.

Glosario

abdomen: segmento corporal del extremo posterior de un animal segmentado; contiene la mayoría de las estructuras digestivas.
abiótico: no viviente; la porción abiótica de un ecosistema que comprende el suelo, las rocas, el agua y la atmósfera.
aborto: procedimiento para interrumpir un embarazo; se dilata el cuello uterino y se extrae el embrión y la placenta.
absorción: proceso mediante el cual se incorporan nutrimentos a la célula.
accidente cerebrovascular: interrupción del flujo de sangre a una parte del cerebro causada por la ruptura de una arteria o la obstrucción de una arteria por un coágulo sanguíneo. La pérdida del suministro de sangre causa en poco tiempo la muerte del área afectada del cerebro.
aceite: lípido compuesto por tres ácidos grasos, algunos de los cuales son insaturados, unidos por enlaces covalentes a una molécula de glicerina; es líquido a temperatura ambiente.
acetilcolina: neurotransmisor localizado en el cerebro y de las sinapsis de las neuronas motrices que inervan el músculo esquelético.
ácido (adjetivo): que tiene una concentración de H^+ mayor que la de OH^-; que libera H^+.
ácido (sustantivo): sustancia que libera iones hidrógeno (H^+) en una solución; solución cuyo pH es menor de 7.
ácido abscísico: hormona vegetal que inhibe en general la acción de otras hormonas; induce letargo en semillas y brotes y hace que los estomas se cierren.
ácido desoxirribonucleico (DNA): molécula compuesta de nucleótidos de desoxirribosa; contiene la información genética de todas las células vivas.
ácido graso: molécula orgánica que se compone de una cadena larga de átomos de carbono con un grupo carboxílico (COOH) en un extremo; puede ser saturado (cuando sólo tiene enlaces sencillos entre los átomos de carbono) o insaturado (cuando hay uno o más dobles enlaces entre los átomos de carbono).
ácido graso esencial: ácido graso que es un nutrimento indispensable; el organismo es incapaz de elaborar los ácidos grasos esenciales, por lo que es necesario suministrarlos en la dieta.
ácido nucleico: molécula orgánica compuesta por unidades de nucleótidos; los dos tipos comunes de ácidos nucleicos son el ácido ribonucleico (RNA) y el ácido desoxirribonucleico (DNA).
ácido ribonucleico (RNA): molécula formada por nucleótidos de ribosa, cada uno de los cuales consiste en un grupo fosfato, el azúcar ribosa y una de las bases adenina, citosina, guanina o uracilo; participa en la conversión de la información del DNA en proteínas; también es el material genético de algunos virus.
ácido úrico: producto de desecho nitrogenado de la descomposición de los aminoácidos; cristales blancos relativamente insolubles excretados por aves, reptiles e insectos.
acrosoma: vesícula localizada en el extremo del espermatozoide animal; contiene las enzimas necesarias para digerir las capas protectoras que envuelven el óvulo.
actina: importante proteína muscular cuya interacción con la miosina produce contracción; está presente en los filamentos finos de la fibra muscular; véase también *miosina.*
adaptación: rasgo que aumenta la capacidad de un individuo para sobrevivir y reproducirse, en comparación con los individuos que carecen de ese rasgo.
adenina: base nitrogenada presente en el DNA y en el RNA; su abreviatura es A.
adrenalina: hormona que secreta la médula suprarrenal; se libera en respuesta al estrés y estimula diversas respuestas, como la liberación de glucosa del hígado y la aceleración del ritmo cardiaco; también se llama *epinefrina*.
aeróbico: que utiliza oxígeno.
aglutinación: aglomeración de sustancias extrañas o microbios, provocada por la unión con anticuerpos.
agresión: comportamiento antagonista, normalmente entre miembros de la misma especie, con frecuencia como resultado de la competencia por los recursos.
aislamiento de comportamiento: ausencia de apareamiento entre especies de animales que difieren en grado considerable en cuanto a sus rituales de cortejo y apareamiento.
aislamiento ecológico: ausencia de apareamiento entre organismos pertenecientes a poblaciones diferentes que ocupan hábitat distintos dentro de la misma región general.
aislamiento geográfico: separación de dos poblaciones por una barrera física.
aislamiento reproductivo: ausencia de apareamiento entre los organismos de una población con los miembros de otra; podría deberse a mecanismos aislantes previos o posteriores al apareamiento.
aislamiento temporal: incapacidad de los organismos para aparearse si tienen temporadas de celo muy distintas.
alantoides: una de las membranas embrionarias de los reptiles, aves y mamíferos; en los reptiles y las aves sirve como órgano para almacenar desechos; en los mamíferos forma la mayor parte del cordón umbilical.
aldosterona: hormona que secreta la corteza suprarrenal; ayuda a regular la concentración de iones en la sangre estimulando la reabsorción de sodio por los riñones y las glándulas sudoríparas.
alelo: una de varias formas alternativas de un gen específico.
alelos múltiples: alelos de cada gen, que pueden llegar a docenas y son resultado de diferentes mutaciones.
alergia: respuesta inflamatoria producida por el cuerpo ante la invasión con materiales extraños, como el polen, por ejemplo, que por sí solos son inofensivos.
alga: todo miembro fotosintetizador del reino eucariótico Protista.
almidón: polisacárido compuesto de cadenas ramificadas o no ramificadas de moléculas de glucosa; las plantas lo utilizan como molécula para almacenar carbohidratos.
alternancia de generaciones: ciclo vital, característico de las plantas, en el que una generación de esporofito diploide (productora de esporas) se alterna con una generación de gametofito haploide (productora de gametos).
altruismo: tipo de comportamiento que puede disminuir el éxito reproductivo del individuo que lo practica, pero beneficia al de otros individuos.
alveolado: miembro de los Alveolata, un gran grupo de protistas al que muchos sistemáticos le asignan la categoría de reino. Los alveolados, que se caracterizan por tener un sistema de sacos debajo de la membrana celular, incluyen a los ciliados, foraminíferas, dinoflagelados y apicompexa.
alveolo: diminuto saco de aire del interior de los pulmones, rodeado de capilares, donde se lleva a cabo el intercambio de gases con la sangre.
amiba: tipo de protista, semejante a los animales, que utiliza un sistema de locomoción por corrientes mediante el cual extiende una prolongación celular llamada *seudópodo.*
amígdala: parte del prosencéfalo de los vertebrados que interviene en la generación de respuestas de comportamiento apropiadas ante los estímulos ambientales.
amilasa: enzima que está presente en la saliva y en las secreciones pancreáticas; cataliza la degradación del almidón.
aminoácido: subunidad individual que constituye las proteínas, compuesta de un átomo de carbono central unido a un grupo amino ($-NH_2$), un grupo carboxilo ($-COOH$), un átomo de hidrógeno y un grupo variable de átomos que se denota con la letra *R*.
aminoácido esencial: aminoácido que es un nutrimento indispensable; el organismo es incapaz de elaborar los aminoácidos esenciales, por lo que es necesario suministrarlos en la dieta.
amniocentesis: procedimiento para tomar muestras del líquido amniótico que rodea al feto: se inserta una aguja esterilizada a través de la pared abdominal, el útero y el saco amniótico de una mujer embarazada; se extraen de 10 a 20 mililitros de líquido amniótico. Se pueden practicar diversas pruebas al fluido y a las células fetales suspendidas en él, con el fin de obtener información acerca de las características genéticas y el desarrollo del feto.
amnios: una de las membranas embrionarias de reptiles, aves y mamíferos; encierra una cavidad llena de líquido que envuelve al embrión.
amoniaco: NH_3; producto residual nitrogenado muy tóxico de la descomposición de los aminoácidos. En el hígado de los mamíferos se transforma en urea.
AMP cíclico: nucleótido cíclico que se forma en muchas células blanco como resultado de la recepción de derivados de aminoácidos u hormonas peptídicas e induce cambios metabólicos en la célula; a menudo se le llama segundo mensajero.
amplexus: en los anfibios, forma de fecundación externa en la que el macho sostiene a la hembra durante el desove y deposita el esperma directamente sobre los óvulos.
amplificación biológica: acumulación creciente de una sustancia tóxica hasta niveles tróficos progresivamente más elevados.
ámpula: bulbo muscular que es parte del sistema hidrovascular de los equinodermos; controla el movimiento de los pies ambulacrales que se usan para la locomoción.
anaeróbico: que no utiliza oxígeno.
anaerobio: organismo cuya respiración no requiere oxígeno.
anafase: en la mitosis, etapa en que las cromátidas hermanas de cada cromosoma se separan

una de otra y se desplazan hacia polos opuestos de la célula; en la meiosis I, etapa en la que se separan los cromosomas homólogos, compuestos de dos cromátidas hermanas; en la meiosis II, etapa en la que las cromátidas hermanas de cada cromosoma se separan una de otra y se desplazan hacia polos opuestos de la célula.

andrógeno: hormona sexual masculina.

anemia drepanocítica o de células falciformes: enfermedad recesiva causada por la sustitución de un solo aminoácido en la molécula de la hemoglobina. Las moléculas de hemoglobina drepanocítica tienden a formar cúmulos y distorsionar la forma de los glóbulos rojos, lo que hace que rompan y obstruyan los capilares.

anfibio: miembro de la clase Amphibia de los cordados, que incluye ranas, sapos y salamandras, así como la culebra ciega, que carece de extremidades.

angina de pecho: dolor pectoral asociado con una reducción del flujo sanguíneo hacia el músculo cardiaco, provocada por la obstrucción de las arterias coronarias.

angiosperma: planta vascular con flores.

angiotensina: hormona que interviene en la regulación del agua en los mamíferos estimulando cambios fisiológicos que aumentan el volumen sanguíneo y la presión arterial.

anillo anual: patrón alternante de xilema claro (temprano) y oscuro (tardío) de los tallos y raíces leñosos, que se forma como resultado de la desigual disponibilidad de agua en las diferentes estaciones del año, por lo general en primavera y verano.

anillo de hada: distribución circular de hongos que se forma cuando las estructuras reproductoras son arrojadas violentamente desde las hifas subterráneas de un hongo de clava que ha estado creciendo hacia fuera en todas direcciones a partir de su ubicación original.

antera: parte superior del estambre donde se forma el polen.

anteridio: estructura en la que se producen células sexuales masculinas; está presente en las briofitas y en ciertas plantas vasculares sin semilla.

anterior: extremo frontal o de la cabeza de un animal.

anticodón: secuencia de tres bases de un RNA de transferencia que es complementaria respecto a las tres bases de un codón de RNA mensajero.

anticoncepción: prevención del embarazo.

anticuerpo: proteína producida por células del sistema inmunitario, que se combina con un antígeno específico y generalmente facilita su destrucción.

anticuerpo monoclonal: anticuerpo producido en el laboratorio clonando células de hibridoma; cada clon de células produce un solo anticuerpo.

antígeno: molécula compleja, por lo general una proteína o un polisacárido, que estimula la producción de un anticuerpo específico.

aparato de Golgi: pila de sacos membranosos, presente en casi todas las células eucarióticas, donde se procesan y separan los componentes de la membrana y los materiales de secreción.

aprendizaje: cambio adaptativo en la conducta como resultado de la experiencia.

aprendizaje por discernimiento: forma compleja de aprendizaje que requiere la manipulación de conceptos mentales para llegar a un comportamiento adaptativo.

aprendizaje por ensayo y error: proceso mediante el cual se aprenden respuestas adaptativas a través de recompensas o castigos proporcionados por el entorno.

árbol genealógico (pedigrí): diagrama que muestra relaciones genéticas entre un conjunto de individuos, normalmente con respecto a un rasgo genético específico.

Archaea: uno de los tres dominios de la vida; comprende los procariotas que tienen un parentesco lejano con los miembros del dominio Bacteria.

arquegonio: estructura en la que se producen las células sexuales femeninas; está presente en las briofitas y en ciertas plantas vasculares sin semilla.

arrecife de coral: bioma creado por animales (corales) y plantas en aguas tropicales cálidas.

arteria: vaso de paredes musculares y elásticas que conduce la sangre del corazón al resto del cuerpo.

arteria renal: la arteria que lleva sangre a cada riñón.

arteriola: arteria pequeña que vierte su sangre en capilares. La contracción de la arteriola regula el flujo sanguíneo hacia diversas partes del cuerpo.

articulación: región flexible entre dos unidades rígidas de un exoesqueleto o endoesqueleto, que permite el movimiento entre las unidades.

articulación en bisagra: articulación en la que los músculos mueven uno de los huesos y el otro permanece fijo, como en la rodilla, el codo o los dedos; permite el movimiento únicamente en dos dimensiones.

articulación esfera-cavidad (diartrosis): articulación en la que el extremo redondo de un hueso encaja en la depresión hueca de otro, como en la cadera, por ejemplo; permite el movimiento en varias direcciones.

asa de Henle: porción especializada del túbulo de la nefrona en las aves y los mamíferos que crea un gradiente de concentración osmótica en el fluido que la rodea. A la vez, este gradiente hace posible la producción de orina más concentrada osmóticamente que el plasma sanguíneo.

asca: estructura con forma de saco donde elaboran sus esporas los miembros de la división fúngica Ascomycota.

ataque cardiaco: reducción u obstrucción grave del flujo de sangre a través de una arteria coronaria, que priva a una parte del músculo cardiaco de suministro de sangre.

aterosclerosis: enfermedad que se caracteriza por la obstrucción de arterias por depósitos de colesterol y el engrosamiento de las paredes arteriales.

átomo: la partícula más pequeña de un elemento que conserva las propiedades de éste.

aurícula: cámara del corazón que recibe la sangre venosa y la transfiere a un ventrículo.

autofecundación: unión de espermatozoides y óvulos del mismo individuo.

autosoma: cromosoma dispuesto en pares homólogos tanto en machos como en hembras y que no porta los genes que determinan el sexo.

autótrofo: "que se alimenta por sí mismo"; generalmente un organismo fotosintetizador; un productor.

auxina: hormona vegetal que influye en muchas de las funciones de las plantas, como el fototropismo, la dominancia apical y la ramificación de las raíces; por lo general estimula el alargamiento de las células y, en ciertos casos, la división y diferenciación celulares.

axón: extensión larga de las neuronas que va del cuerpo celular a las terminaciones sinápticas en otras neuronas o músculos.

azúcar: molécula de carbohidrato simple; puede ser un monosacárido o un disacárido.

bacilo: bacteria con forma de bastón.

bacteria: organismo que consiste de una sola célula procariótica rodeada por una cubierta compleja de polisacárido.

Bacteria: uno de los tres dominios de la vida; comprende los procariotas que tienen un parentesco lejano con los miembros del dominio Archaea.

bacteria desnitrificante: bacteria que descompone los nitratos y libera nitrógeno gaseoso a la atmósfera.

bacteria fijadora de nitrógeno: bacteria capaz de tomar nitrógeno (N_2) de la atmósfera y combinarlo con hidrógeno para producir amonio (NH_4^+).

bacteriófago: virus que se especializa en atacar bacterias.

banda de Caspary: banda cérea e impermeable, situada en las paredes celulares entre las células endodérmicas de las raíces, que impide la entrada y salida de agua y minerales del cilindro vascular, a través del espacio extracelular.

barrera hematoencefálica: capilares relativamente impermeables del encéfalo que protegen las células cerebrales contra las sustancias químicas potencialmente nocivas que entran en el torrente sanguíneo.

base: (1) sustancia capaz de combinarse con los iones H^+ de una solución y neutralizarlos; solución cuyo pH es mayor que 7. (2) En genética molecular, una de las estructuras nitrogenadas de uno o dos anillos que representan la diferencia entre un nucleótido y otro. En el DNA, las bases son adenina, guanina, citosina y timina.

básica: sustancia que tiene una concentración de H^+ menor que la de OH^-; se combina con H^+.

basidio: célula diploide, con forma característica de maza o clava, que forman los miembros de la división fúngica Basidiomycota; produce basidiosporas por meiosis.

basidiospora: espora sexual que forman los miembros de la división fúngica Basidiomycota.

basófilo: tipo de leucocito que libera sustancias que inhiben la coagulación sanguínea y compuestos químicos que participan en las reacciones alérgicas y en las respuestas al daño tisular y a la invasión microbiana.

bazo: órgano del sistema linfático en el que se producen linfocitos y se filtra la sangre haciéndola pasar por linfocitos y macrófagos para eliminar partículas extrañas y glóbulos rojos viejos.

biblioteca de DNA: juego completo, fácilmente accesible y reproducible, de todo el DNA de un organismo específico, por lo general clonado en plásmidos bacterianos.

bicapa fosfolipídica: doble capa de fosfolípidos que constituye la base de todas las membranas celulares. Las cabezas de los fosfolípidos, que son hidrofílicas, dan hacia el agua del fluido extracelular o del citoplasma; las colas, que son hidrofóbicas, están en la parte media de la bicapa.

bilis: secreción líquida que se produce en el hígado, se almacena en la vesícula biliar y se libera en el intestino delgado durante la digestión; mezcla compleja de sales biliares, agua, otras sales y colesterol.

biocapacidad: estimación de los recursos sustentables y la capacidad realmente disponible de absorción de los desechos en la Tierra. Es un concepto relacionado con capacidad de carga

que se explica en el capítulo 26. Los cálculos de la huella ecológica y de la biocapacidad están sujetos a cambios conforme las nuevas tecnologías modifican la forma en que la gente utiliza los recursos.

biodegradable: capaz de descomponerse en sustancias inocuas por la acción de agentes de descomposición.

biodiversidad: número total de especies que integran un ecosistema y la complejidad resultante de las interacciones entre ellas.

biología de la conservación: aplicación del conocimiento de la ecología y otras áreas de la biología para preservar la biodiversidad.

bioma: ecosistema terrestre que ocupa una extensa área geográfica y se caracteriza por un tipo específico de comunidad vegetal; por ejemplo, los desiertos.

biomasa: peso seco del material orgánico de un ecosistema.

biosfera: parte de la Tierra habitada por organismos vivos: incluye componentes tanto animados como inanimados.

biotecnología: todo uso o alteración industrial o comercial de organismos, células o moléculas biológicas para alcanzar metas prácticas específicas.

biótico: viviente.

blastocisto: etapa temprana del desarrollo embrionario de los mamíferos; es una esfera hueca de células que encierra una masa de ellas adherida a su superficie interna, la cual se convierte en el embrión.

blastoporo: sitio en el que la blástula se invagina para formar una gástrula.

blástula: en los animales, la etapa embrionaria que se alcanza al final de la segmentación, en la que normalmente el embrión es una esfera hueca con una pared de una o varias células de espesor.

boca: abertura de un sistema digestivo tubular por la que entra el alimento.

bocio: hinchazón del cuello provocada por una deficiencia de yodo que afecta el funcionamiento de la glándula tiroides y de sus hormonas.

bomba de sodio-potasio: conjunto de moléculas de transporte activo que utilizan energía de ATP para bombear iones sodio hacia afuera de la célula y iones potasio hacia dentro para mantener los gradientes de concentración de estos iones a través de la membrana.

bosque caducifolio de clima templado: bioma en el que los inviernos son fríos y la precipitación pluvial veraniega proporciona suficiente humedad para que crezcan árboles cuya sombra impide el crecimiento de pastos.

bosque caducifolio tropical: bioma con estaciones húmeda y seca pronunciadas y plantas que deben perder sus hojas durante la temporada de sequía para reducir al mínimo la pérdida de agua.

bosque de clima templado lluvioso: bioma en el que no hay escasez de agua líquida en todo el año y está dominado por coníferas.

bosque septentrional de coníferas (bosque boreal): bioma con inviernos largos y fríos y apenas unos cuantos meses de clima cálido; poblado casi totalmente por coníferas siempre verdes; también se denomina *taiga.*

bradicinina: sustancia química que se forma cuando los tejidos sufren lesiones; se une a las moléculas receptoras de las terminaciones nerviosas del dolor y origina la sensación de dolor.

branquia: en los animales acuáticos, tejido ramificado con abundante provisión de capilares, en torno al cual circula el agua para llevar a cabo el intercambio de gases.

briofita: planta no vascular simple de la división Bryophyta; las briofitas comprenden los musgos y las hepáticas.

bronquio: tubo que conduce aire de la tráquea a cada pulmón.

bronquiolo: tubo estrecho, formado por ramificaciones repetidas de los bronquios, que conduce aire hasta los alveolos.

bronquitis crónica: infección pulmonar persistente que se caracteriza por tos, inflamación del revestimiento del tracto respiratorio, mayor producción de moco y reducción del número y la actividad de los cilios.

buche: órgano de las lombrices de tierra y de las aves en el que se almacena temporalmente el alimento ingerido antes de hacerlo pasar a la molleja, donde es pulverizado.

***buffer*:** sustancia que reduce al mínimo los cambios de pH tomando o liberando iones H^+.

bulbo raquídeo: en los vertebrados, parte del rombencéfalo que controla las actividades automáticas como la respiración, la deglución, el ritmo cardiaco y la presión arterial.

burbuja de duplicación: la porción desenrollada de las dos cadenas del DNA progenitor, separada por DNA helicasa, en la duplicación de DNA.

cabeza: el segmento anterior de un animal con segmentación.

cadena alimentaria: relación lineal de alimentación de una comunidad, con base en un solo representante de cada nivel trófico.

cadena molde: cadena de la doble hélice del DNA a partir de la cual se transcribe el RNA.

calcitonina: hormona que secreta la glándula tiroides; inhibe la liberación de calcio de los huesos.

calentamiento global: elevación gradual de la temperatura atmosférica del planeta, como resultado de una amplificación del efecto de invernadero natural que se debe a las actividades humanas.

calor de fusión: energía que es preciso extraer de un compuesto líquido para transformarlo en un sólido a su temperatura de congelación.

calor de vaporización: energía que es preciso suministrar a un compuesto líquido para transformarlo en un gas a su temperatura de ebullición.

calor específico: cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de una sustancia en 1°C.

caloría: cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de agua en 1 grado Celsius.

Caloría (con mayúscula): unidad de energía en la que se mide el contenido energético de los alimentos; cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 litro de agua en un grado Celsius; también recibe el nombre de *kilocaloría* y equivale a 1000 calorías.

calostro: líquido amarillento, rico en proteínas y que contiene anticuerpos, que producen las glándulas mamarias antes que se inicie la secreción de leche.

cambium (pl., ***cambia***)**:** meristemo lateral, paralelo al eje longitudinal de las raíces y los tallos, que da origen al crecimiento secundario de tallos y raíces de plantas leñosas. Véase *cambium suberígeno; cambium vascular.*

cambium suberígeno: meristemo lateral de las raíces y los tallos leñosos que da origen a células suberosas.

cambium vascular: meristemo lateral situado entre el xilema y el floema de una raíz o un tallo leñoso y que da origen al xilema y floema secundarios.

camuflaje: coloración y/o forma que hace a un organismo menos llamativo en su ambiente.

canal auditivo: conducto dentro del oído externo que lleva el sonido desde el pabellón auricular hasta el tímpano.

cáncer: enfermedad en la que algunas de las células del cuerpo escapan a los procesos de control celular y se dividen sin control.

capa de abscisión: capa de células de pared delgada que se localiza en la base del peciolo de las hojas y produce una enzima que digiere la pared celular que sujeta la hoja al tallo, lo que permite que la hoja caiga.

capa de ozono: la capa enriquecida en ozono de la atmósfera superior, que filtra parte de la radiación ultravioleta del Sol.

capa electrónica: región en cuyo interior se mueven los electrones que corresponden a un nivel de energía fijo a cierta distancia del núcleo del átomo.

capa germinal: capa de tejido que se forma durante el inicio del desarrollo embrionario.

capacidad de carga: tamaño máximo de población que un ecosistema puede mantener de forma indefinida; está determinada principalmente por la disponibilidad de espacio, nutrimentos, agua y luz.

capilar: el tipo más pequeño de vaso sanguíneo; comunica las arteriolas con las vénulas. Las paredes de los capilares, a través de las cuales se lleva a cabo el intercambio de nutrimentos y desechos, tienen sólo una célula de espesor.

cápsula: cubierta de polisacárido o proteína que ciertas bacterias patógenas secretan al exterior de su pared celular.

cápsula de Bowman: parte de la nefrona con forma de taza, en la que se recoge el filtrado de la sangre por el glomérulo.

capuchón cervical (diafragma): dispositivo anticonceptivo que consiste en un capuchón de caucho que se ajusta sobre el cuello del útero para impedir que los espermatozoides entren en él.

carbohidrato: compuesto de carbono, hidrógeno y oxígeno cuya fórmula química aproximada es $(CH_2O)_n$; los azúcares y los almidones son carbohidratos.

cariotipo: preparación que muestra el número, el tamaño y la forma de todos los cromosomas de una célula y, por lo tanto, del individuo o especie de donde ésta proviene.

carnívoro: literalmente, "que come carne"; organismo depredador que se alimenta de herbívoros o de otros carnívoros; consumidor secundario (o superior).

carotenoide: pigmento rojo, anaranjado o amarillo que está presente en los cloroplastos y sirve como molécula recolectora de luz auxiliar en los fotosistemas de los tilacoides.

carpelo: estructura reproductora femenina de las flores; se compone de estigma, estilo y ovario.

cartílago: forma de tejido conectivo que constituye partes del esqueleto; se compone de condrocitos y su secreción extracelular de colágeno; se asemeja al hueso flexible.

casquete radical (pilorriza): cúmulo de células en la punta de una raíz en crecimiento, derivado del meristemo apical; evita que la punta sufra daños al penetrar en el suelo.

catalizador: sustancia que acelera una reacción química sin sufrir ella misma cambios permanentes durante el proceso; reduce la energía de activación de la reacción.

catastrofismo: hipótesis de que la Tierra ha experimentado una serie de catástrofes geológicas, probablemente impuestas por un ente

sobrenatural, que explican la multitud de especies, tanto extintas como modernas. El catastrofismo sostiene el creacionismo.
causalidad natural: principio científico de que los sucesos naturales son resultado de causas naturales anteriores.
cavidad gastrovascular: cámara con apariencia de saco con funciones digestivas que está presente en los invertebrados simples; una sola abertura sirve como boca y ano a la vez. La cámara permite el acceso directo de los nutrimentos a las células.
cefalización: tendencia de los órganos sensoriales y el tejido nervioso a concentrarse en la región de la cabeza a lo largo del tiempo evolutivo.
celoma: espacio o cavidad que separa la pared corporal de los órganos internos.
célula: la unidad más pequeña de vida; se compone, como mínimo, de una membrana exterior que encierra un medio acuoso en el que hay moléculas orgánicas, incluido el material genético compuesto de DNA.
célula acompañante: célula adyacente a un elemento del tubo criboso del floema, que interviene en el control y la nutrición del elemento del tubo criboso.
célula amiboide: protista o célula animal que se desplaza extendiendo una prolongación celular llamada seudópodo.
célula asesina natural: tipo de glóbulo blanco que destruye algunas células infectadas por virus y células cancerosas al ponerse en contacto con ellas; forma parte de la defensa interna inespecífica del sistema inmunitario contra las enfermedades.
célula B: tipo de linfocito que participa en la inmunidad humoral; da origen a las células plasmáticas que secretan anticuerpos en el sistema circulatorio y a las células de memoria.
célula B de memoria: tipo de glóbulo blanco que se produce como resultado de la unión de un anticuerpo de una célula B a un antígeno de un microorganismo invasor. Las células B de memoria persisten en el torrente sanguíneo y brindan inmunidad futura ante invasores que llevan ese antígeno.
célula blanco: célula en la que una hormona dada ejerce su efecto.
célula de lámina de haz: miembro de un grupo de células que rodean las venas de las plantas; en las plantas C_4 (pero no en las C_3), las células de vaina de haz contienen cloroplastos.
célula de Sertoli: en el túbulo seminífero, célula grande que regula la espermatogénesis y nutre al espermatozoide en desarrollo.
célula de tubo: célula más exterior de un grano de polen; crea por digestión un tubo polínico a través de los tejidos del carpelo y finalmente penetra en el gametofito femenino.
célula diferenciada: célula madura especializada en una función determinada; en las plantas, generalmente las células diferenciadas no se dividen.
célula en collar (coanocito): célula especializada que recubre los canales internos de las esponjas. Presenta flagelos que se extienden desde un collar criboso y crean una corriente de agua que atrae organismos microscópicos a través del collar y al interior del cuerpo, donde quedan atrapados.
célula en empalizada: célula mesofílica columnar que contiene cloroplastos y está inmediatamente por debajo de la epidermis superior de las hojas.
célula endospérmica primaria: célula central del gametofito femenino de una planta con flores; contiene los núcleos polares (normalmente dos); después de la fertilización, sufre divisiones mitóticas repetidas para producir el endospermo de la semilla.
célula epitelial: tipo de célula que forma el tejido epitelial.
célula esponjosa: célula del mesófilo de forma irregular que contiene cloroplastos, situada inmediatamente por encima de la epidermis inferior de las hojas.
célula fagocítica: tipo de célula del sistema inmunitario que destruye microbios invasores mediante fagocitosis, envolviendo y digiriendo los microbios.
célula flamígera: en los gusanos planos, célula especializada que tiene cilios pulsátiles y dirige el agua y los residuos a través de los tubos ramificados que sirven como sistema excretor.
célula ganglionar: tipo de células, de las cuales está compuesta la capa más interna de la retina de los vertebrados, cuyos axones forman el nervio óptico.
célula generadora: en las plantas con flor, una de las células haploides del grano de polen; sufre mitosis para formar dos espermatozoides.
célula glial: célula del sistema nervioso que brinda soporte y aislamiento a las neuronas.
célula intersticial: en los testículos de los vertebrados, célula productora de testosterona que se localiza entre los túbulos seminíferos.
célula madre: célula indiferenciada capaz de dividirse para dar origen a uno o más tipos distintivos de células diferenciadas.
célula madre de megasporas: célula diploide, dentro del óvulo de una planta con flor, que sufre meiosis para producir cuatro megasporas haploides.
célula madre de microsporas: célula diploide contenida en una antera de una planta con flor y que sufre meiosis para producir cuatro microsporas haploides.
célula madre embrionaria: célula derivada de una etapa temprana del embrión que es capaz de diferenciarse para convertirse en cualquier tipo de célula de un adulto.
célula meristemática: célula no diferenciada que conserva la capacidad para dividirse durante toda la vida de una planta.
célula neurosecretora: célula nerviosa especializada que sintetiza y libera hormonas.
célula pilosa: tipo de célula receptora del oído interno que produce una señal eléctrica cuando se doblan sus rígidos cilios parecidos a pelos que salen de la superficie de la célula. Las células pilosas en la cóclea responden a las vibraciones sonoras; las que se localizan en el sistema vestibular responden al movimiento y la gravedad.
célula plasmática: descendiente de una célula B, que secreta anticuerpos.
célula suberosa: célula protectora de la corteza de los tallos y las raíces leñosos; en la madurez, las células suberosas están muertas y su pared celular es gruesa e impermeable.
célula T: tipo de linfocito que reconoce y destruye células o sustancias ajenas específicas o que regula a otras células del sistema inmunitario.
célula T citotóxica: tipo de célula T que, al entrar en contacto con células extrañas, las destruye directamente.
célula T de memoria: tipo de glóbulo blanco que se produce como resultado de la unión de un receptor de una célula T con un antígeno de un microorganismo invasor. Las células T de memoria persisten en el torrente sanguíneo y brindan inmunidad futura ante invasores que llevan ese antígeno.
célula T facilitadora: tipo de célula T que ayuda a otras células del sistema inmunitario a reconocer y a actuar contra los antígenos.
células de islote: grupo de células de la parte endocrina del páncreas que produce insulina y glucagón.
células oclusivas: par de células epidérmicas especializadas que rodean la abertura central de los estomas de las hojas; regulan el tamaño de la abertura.
celulasa: enzima que cataliza la descomposición del carbohidrato celulosa en las moléculas de glucosa de que se compone; prácticamente sólo está presente en microorganismos.
celulosa: carbohidrato insoluble compuesto de subunidades de glucosa; forma la pared celular de los vegetales.
centriolo: en las células animales, anillo corto con forma de barril compuesto de nueve tripletes de microtúbulos; estructura que contiene microtúbulos y está situada en la base de cada cilio y flagelo; da origen a los microtúbulos de los cilios y flagelos e interviene en la formación del huso durante la división celular.
centro de reacción: en el complejo recolector de luz de un fotosistema, la molécula de clorofila a la que las moléculas antena (pigmentos que absorben luz) transfieren energía luminosa: la energía capturada expulsa un electrón de la clorofila del centro de reacción, el cual se transfiere al sistema de transporte de electrones.
centro respiratorio: cúmulo de neuronas, situado en el bulbo raquídeo, que envía ráfagas rítmicas de impulsos nerviosos a los músculos respiratorios y da como resultado la respiración.
centrómero: región de los cromosomas duplicados donde las cromátidas hermanas se mantienen unidas hasta que se separan durante la división celular.
cera: lípido compuesto por ácidos grasos unidos por enlaces covalentes a alcoholes de cadena larga.
cerebelo: parte posterior del encéfalo de los vertebrados que se encarga de coordinar los movimientos del cuerpo.
cerebro: parte del sistema nervioso central de los vertebrados que se encuentra dentro del cráneo.
cerebro medio (mesencefalo): durante el desarrollo, la porción central del cerebro; contiene un importante centro de retransmisión, la formación reticular.
chaparral: bioma que se localiza en las regiones costeras, y que recibe muy poca precipitación pluvial anual; se caracteriza por arbustos y pequeños árboles.
cianobacteria: célula procariótica fotosintética que utiliza clorofila y desprende oxígeno como producto de la fotosíntesis; también se conoce como *alga verde-azul.*
ciclo biogeoquímico: también conocido como *ciclo de los nutrimentos;* es el proceso por el que se transfiere un nutrimento específico de un ecosistema entre los organismos vivos y el depósito del nutrimento en el ambiente inanimado.
ciclo C_3: serie cíclica de reacciones mediante las cuales se fija dióxido de carbono en carbohidratos durante las reacciones independientes de la luz de la fotosíntesis; también recibe el nombre de *ciclo de Calvin-Benson.*
ciclo cardiaco: alternancia de contracción y relajación de las cámaras del corazón.
ciclo celular: secuencia de procesos que se dan en la vida de una célula, de una división a la siguiente.

ciclo de auge y decadencia: ciclo demográfico que se caracteriza por un rápido crecimiento exponencial seguido de una mortandad masiva repentina; se observa en las especies estacionales y en ciertas poblaciones de roedores pequeños, como los lemmings, por ejemplo.
ciclo de Calvin-Benson: véase *ciclo C_3*.
ciclo de Krebs: serie cíclica de reacciones que se efectúan en la matriz de las mitocondrias y en el que el grupo acetilo de las moléculas de ácido pirúvico producidas por la glucólisis se descomponen hasta llegar a CO_2, acompañado por la formación de ATP y portadores de electrones; también se llama *ciclo del ácido cítrico*.
ciclo de los nutrimentos: descripción de las rutas que sigue un nutrimento específico (como carbono, nitrógeno, fósforo o agua) a través de las partes viva e inanimadas de un ecosistema. También se conoce como ciclo biogeoquímico.
ciclo de población: cambios cíclicos que se presentan regularmente en el tamaño de la población.
ciclo del ácido cítrico: véase *ciclo de Krebs*.
ciclo hidrológico: ciclo del agua, impulsado por la energía solar; ciclo de nutrimentos en el que el depósito principal de agua es el océano y la mayor parte del agua permanece como tal durante todo el ciclo (en vez de ser utilizada en la síntesis de otras moléculas).
ciclo menstrual: en las mujeres, complejo ciclo de 28 días durante el cual interacciones hormonales entre el hipotálamo, la hipófisis y los ovarios coordinan la ovulación y la preparación del útero para recibir y nutrir al huevo fertilizado. Si no hay embarazo, el revestimiento uterino se expulsa durante la menstruación.
ciclo vital: sucesos en la vida de un organismo, de una generación a la siguiente.
cigospora: espora de hongo, producida por la división Zygomycota, que está rodeada por una pared gruesa y resistente y se forma a partir de un cigoto diploide.
cigoto: en la reproducción sexual, célula diploide (óvulo fecundado) que se forma por la fusión de dos gametos haploides.
ciliado: protozoario que se caracteriza por tener cilios y una estructura unicelular compleja que incluye organelos parecidos a arpones, llamados tricocistos. Los miembros del género *Paramecium* son ciliados muy conocidos.
cilindro vascular: tejido conductor central de una raíz joven; consiste en xilema y floema primarios.
cilio: prolongación de la superficie de ciertas células eucarióticas, parecida a un pelo, que contiene microtúbulos en una disposición de 9 + 2. El movimiento de los cilios impulsa las células en un medio líquido o mueve los líquidos sobre la capa superficial estacionaria de las células.
cinetocoro: estructura proteica que se forma en la región del centrómero de los cromosomas; une los cromosomas al huso.
circunvolución: pliegue de la corteza cerebral del encéfalo de los vertebrados.
citocina: cualquiera de las moléculas químicas mensajeras que liberan las células para facilitar la comunicación con otras células y transferir señales dentro de varios sistemas del cuerpo y entre éstos. Las citocinas son importantes en la diferenciación celular y el sistema inmunitario.
citocinesis: división del citoplasma y los organelos en dos células hijas durante la división celular; generalmente se lleva a cabo durante la telofase de la mitosis.
citocinina: hormona vegetal que promueve la división celular, el crecimiento del fruto y el brote de yemas laterales; previene el envejecimiento de ciertas partes de la planta, especialmente de las hojas.
citoesqueleto: red de fibras proteínicas del citoplasma que da forma a la célula, sostiene y mueve los organelos y por lo regular participa en el movimiento celular.
citoplasma: material contenido dentro de la membrana plasmática de la célula, con exclusión del núcleo.
citosina: base nitrogenada presente en el DNA y en el RNA; su abreviatura es C.
clamidia: enfermedad de transmisión sexual causada por bacterias, que provoca la inflamación de la uretra en los varones y de la uretra y el cuello del útero en las mujeres.
clase: categoría taxonómica compuesta de órdenes emparentados. Las clases que guardan una relación estrecha constituyen una división o filum.
clima: patrones meteorológicos que prevalecen de un año a otro o incluso de un siglo a otro en una región específica.
clítoris: estructura externa del sistema reproductor femenino; se compone de tejido eréctil; es un punto sensible de estimulación durante la respuesta sexual.
clon: descendencia producida por mitosis, por lo tanto, genéticamente idéntica entre sí.
clonación: procedimiento por el que se producen muchas copias idénticas de un gen; también se llama así a la producción de muchas copias genéticamente idénticas de un organismo.
clorofila: pigmento presente en los cloroplastos que captura energía luminosa durante la fotosíntesis; absorbe la luz violeta, azul y roja y refleja la luz verde.
cloroplasto: organelo de las plantas y de los protistas semejantes a plantas, donde se lleva a cabo la fotosíntesis; lo envuelve una doble membrana y alberga un extenso sistema de membranas internas que contiene clorofila.
cnidocito: en los miembros del filum Cnidaria, célula especializada que alberga el aparato que actúa como aguijón.
coagulación sanguínea: proceso complejo mediante el cual las plaquetas, la proteína fibrina y los eritrocitos obstruyen una superficie irregular del interior o de la superficie del cuerpo (por ejemplo, un vaso sanguíneo lesionado) para cerrar la herida.
cóclea: tubo enroscado, óseo y lleno de líquido que se encuentra en el oído interno de los mamíferos; contiene receptores (células pilosas) que responden a la vibración del sonido.
código genético: conjunto de codones de RNAm, cada uno de los cuales dirige la incorporación de un aminoácido específico en una proteína durante la síntesis de proteínas.
codominancia: relación entre dos alelos de un gen, según la cual ambos alelos se expresan fenotípicamente en los individuos heterocigóticos.
codón: secuencia de tres bases de RNA mensajero que especifica un aminoácido determinado que debe ser incorporado en una proteína; ciertos codones también señalan el comienzo o el final de la síntesis de una proteína.
codón de inicio: el primer codón AUG de una molécula de RNA mensajero.
codón de terminación: codón del RNA mensajero que detiene la síntesis de proteínas y hace que la cadena proteica terminada se libere del ribosoma.
coenzima: molécula orgánica que está unida a ciertas enzimas y es necesaria para el buen funcionamiento de éstas; por lo común, es un nucleótido unido a una vitamina hidrosoluble.
coevolución: evolución de adaptaciones en dos especies que se debe a la intensa interacción entre ambas, de tal manera que cada especie actúa como una importante fuerza de selección natural sobre la otra.
cohesión: tendencia de las moléculas de una sustancia a mantenerse unidas.
coito interrumpido: extracción del pene de la vagina justo antes de la eyaculación en un intento por evitar el embarazo; método anticonceptivo poco eficaz.
cola post-anal: cola que se extiende más allá del ano; la presentan todos los cordados en alguna etapa de su desarrollo.
colágeno: proteína fibrosa del tejido conectivo, como hueso y cartílago, por ejemplo.
colecistocinina: hormona digestiva producida por el intestino delgado y que estimula la liberación de enzimas pancreáticas.
colénquima: tipo de célula vegetal poligonal alargada con paredes celulares primarias engrosadas de forma irregular, que está viva en la madurez y sostiene el cuerpo de la planta.
coleóptilo: vaina protectora que envuelve los brotes de las semillas monocotiledóneas y permite que el vástago aparte las partículas de suelo a medida que crece.
colon: la parte más larga del intestino grueso, con exclusión del recto.
coloración de advertencia: coloración brillante para advertir a los depredadores que la presa potencial tiene sabor desagradable o que incluso es venenosa.
coloración de sobresalto: forma de mimetismo en la que un organismo presa exhibe repentinamente un patrón de colores (que en muchos casos se asemeja a grandes ojos) cuando se aproxima un depredador.
columna vertebral: columna de unidades esqueléticas (vértebras) dispuestas en serie, las cuales encierran a la médula espinal en los vertebrados; la espina dorsal.
combustible fósil: combustible como la hulla, el petróleo y el gas natural, formado a partir de los restos de organismos antiguos.
comensalismo: relación simbiótica en la que una especie se beneficia al tiempo que otra especie ni se daña ni se beneficia.
compartimiento intermembranas: espacio lleno de líquido que está comprendido entre las membranas interna y externa de las mitocondrias.
competencia: interacción entre individuos que intentan utilizar un recurso (por ejemplo: alimento o espacio) que está limitado en relación con la demanda.
competencia de lucha: contienda desesperada entre individuos de la misma especie por obtener recursos limitados.
competencia interespecífica: competencia entre individuos de especies diferentes.
competencia por concurso: mecanismo para resolver la competencia intraespecífica mediante interacciones sociales o químicas.
complejo colector de luz: en los fotosistemas, el conjunto de moléculas de pigmento (clorofila y pigmentos accesorios) que absorben energía luminosa y la transfieren a los electrones.
complejo mayor de histocompatibilidad (MHC): proteínas, situadas normalmente en las superficies de las células corporales, que identifican a la célula como parte del individuo; también son importantes para estimular y regular la respuesta inmunitaria.
complemento: grupo de proteínas que transporta la sangre y que participan en la destruc-

ción de las células extrañas a las que se han unido los anticuerpos.
comportamiento: toda actividad observable de un animal vivo.
compuesto: sustancia cuyas moléculas están formadas de diferentes tipos de átomos; puede descomponerse en sus elementos constitutivos por medios químicos.
comunicación: acto de producir una señal que provoca que otro animal, normalmente de la misma especie, modifique su conducta en un sentido que es provechoso para uno de los participantes o para ambos.
comunidad: todas las poblaciones que interactúan dentro de un ecosistema.
comunidad clímax: comunidad diversa y relativamente estable que constituye el punto final de la sucesión.
comunidad de los respiraderos hidrotérmicos: comunidad de organismos fuera de lo común que viven en las grandes profundidades del océano, cerca de los respiraderos hidrotérmicos y que dependen de las actividades quimiosintéticas de las bacterias de azufre.
concavidad: área de las paredes celulares entre dos células vegetales en la que no se formaron paredes secundarias, de tal manera que las dos células están separadas sólo por una pared primaria relativamente delgada y porosa.
concentración: número de partículas de una sustancia disuelta en una unidad de volumen dada.
conclusión: operación final del método científico; decisión que se toma acerca de la validez de una hipótesis sobre la base de los datos experimentales.
condensación: compactación de cromosomas eucarióticos en unidades discretas, como preparación para la mitosis o la meiosis.
condicionamiento operante: procedimiento de adiestramiento en laboratorio en el que un animal aprende a responder de cierta manera (por ejemplo, presionar una palanca) mediante recompensas o castigos.
condón: funda anticonceptiva que se pone sobre el pene durante el coito para impedir que se deposite esperma en la vagina.
condrocito: célula viva del cartílago. Los condrocitos forman cartílago junto con sus secreciones extracelulares de colágeno.
conducto: tubo o abertura por el que se emiten secreciones exocrinas.
conducto auditivo: conducto que conecta el oído medio con la faringe y que permite que la presión se equilibre entre el oído medio y el exterior (también se conoce como trompa de Eustaquio).
conducto colector: tubo conductor del interior del riñón que recolecta la orina de muchas nefronas y la conduce a través de la médula renal hasta la pelvis renal. En presencia de hormona antidiurética (ADH), la orina se concentra en los conductos colectores.
conducto deferente: tubo que conecta el epidídimo del testículo con la uretra.
conífera: miembro de las traqueofitas (Coniferophyta) que se reproduce mediante semillas que se forman dentro de conos y conserva sus hojas durante todo el año.
conjugación: en los procariotas, la transferencia del DNA de una célula a otra por medio de una conexión temporal; en los eucariotas unicelulares, el intercambio de material genético entre dos células unidas temporalmente.
conjugación bacteriana: intercambio de material genético entre dos bacterias.
cono: célula fotorreceptora de forma cónica de la retina de los vertebrados; no es tan sensible a la luz como los bastones. Los tres tipos de conos son más sensibles a diferentes colores de la luz y permiten la visión cromática; véase también *bastón.*
consumidor: organismo que se alimenta de otros organismos; un heterótrofo.
consumidor primario: organismo que se alimenta de productores; un herbívoro.
consumidor secundario: organismo que se alimenta de consumidores primarios; un carnívoro.
consumidor terciario: carnívoro que se alimenta de otros carnívoros (consumidores secundarios).
control: parte de un experimento en la que se mantienen constantes todas las variables posibles, en contraste con la parte "experimental", en la que se altera una variable específica.
convergencia: condición en la que un gran número de neuronas aportan estímulos a un número menor de células.
copulación: comportamiento reproductivo en el que se inserta el pene del macho en el cuerpo de la hembra, donde libera los espermatozoides.
corazón: órgano muscular que se encarga de bombear la sangre del sistema circulatorio por todo el cuerpo.
cordón nervioso: estructura nerviosa apareada en la mayoría de los animales que conduce señales nerviosas a los ganglios y desde éstos; en los cordados, estructura nerviosa que se extiende a lo largo de la parte dorsal del cuerpo; se llama también médula espinal.
corion: la membrana embrionaria más externa de reptiles, aves y mamíferos; en aves y reptiles, su función es principalmente el intercambio de gases; en los mamíferos, forma la mayor parte de la porción embrionaria de la placenta.
córnea: cubierta exterior transparente del ojo, por delante de la pupila y el iris.
coroides: capa de tejido con pigmentación oscura que está detrás de la retina y contiene vasos sanguíneos y un pigmento que absorbe la luz dispersa.
corona radiada: capa de células que rodean al óvulo después de la ovulación.
corredores de vida silvestre: franjas de tierra protegidas que vinculan áreas más extensas. Permiten a los animales desplazarse de manera libre y segura entre los hábitat que, de otra forma, quedarían aislados por las actividades humanas.
corteza: 1 capa externa de un tallo leñoso, compuesta de floema, cambium suberoso y células suberosas. **2** parte de la raíz o tallo primario, que se encuentra entre la epidermis y el cilindro vascular.
corteza cerebral: capa delgada de neuronas de la superficie del cerebro de los vertebrados, donde se lleva a cabo la mayor parte del procesamiento neural y la coordinación de las actividades.
corteza renal: la capa externa del riñón, donde se encuentran las nefronas.
corteza suprarrenal: parte externa de la glándula suprarrenal; secreta hormonas esteroides que regulan el metabolismo y el equilibrio de sales.
cortisol: hormona esteroide que libera la corteza suprarrenal en el torrente sanguíneo en respuesta al estrés. El cortisol ayuda al cuerpo a enfrentar los estresores a corto plazo elevando los niveles de glucosa en la sangre; también inhibe la respuesta inmunitaria.
cotiledón: estructura parecida a una hoja que se encuentra dentro de la semilla y absorbe moléculas de alimento del endosperma para transferirlas al embrión en crecimiento; también se llama *hoja seminal.*
creacionismo: hipótesis según la cual todas las especies de la Tierra fueron creadas fundamentalmente en su forma actual por un ente sobrenatural; sostiene también que no pueden ocurrir modificaciones importantes de esas especies, como su transformación en nuevas especies mediante procesos naturales.
crecimiento exponencial: aumento continuamente acelerado del tamaño de una población.
crecimiento primario: crecimiento en longitud y desarrollo de las estructuras iniciales de las raíces y vástagos de las plantas, provocado por la división celular de meristemos apicales y la diferenciación de las células hijas.
crecimiento secundario: crecimiento en el diámetro de un tallo o raíz provocado por la división celular en meristemos laterales y la diferenciación de sus células hijas.
cresta: pliegue de la membrana interior de las mitocondrias.
cristalino: estructura flexible o móvil de los ojos que sirve para enfocar la luz en una capa de células fotorreceptoras.
cromátida: cada una de las dos cadenas idénticas de DNA y proteína que constituyen un cromosoma replicado. Las dos cromátidas hermanas están unidas en el centrómero.
cromatina: complejo de DNA y proteína que constituye los cromosomas eucarióticos.
cromista: miembros de los Chromista, un gran grupo de protistas al que muchos sistemáticos le asignan la categoría de reino. Los cromistas incluyen a las diatomeas, las algas pardas y los mohos acuáticos.
cromosoma: conjunto de una doble hélice individual de DNA y las proteínas que ayudan a organizar el DNA.
cromosoma duplicado: cromosoma eucariótico que se produce después de la duplicación del DNA; se compone de dos cromátidas hermanas unidas en los centrómeros.
cromosomas sexuales: el par de cromosomas que normalmente determina el sexo de un organismo; por ejemplo, los cromosomas X y Y en los mamíferos.
cruza de prueba: experimento de crianza en el cual un individuo que presenta el fenotipo dominante se aparea con un individuo que es homocigoto recesivo para el mismo gen. La proporción de progenie con fenotipo dominante *versus* el recesivo puede usarse para determinar el genotipo del individuo con el fenotipo dominante.
cubierta seminal: cubierta más exterior de una semilla; es delgada, resistente e impermeable y se forma a partir de los tegumentos del óvulo.
cuello de botella de población: forma de deriva genética en la que una población se vuelve extremadamente pequeña; podría dar pie a diferencias en las frecuencias alélicas en comparación con otras poblaciones de la especie y a una pérdida de variabilidad genética.
cuello del útero: anillo de tejido conectivo situado en el extremo exterior del útero y que conduce hacia la vagina.
cuerda vocal: cada una de las dos bandas de tejido elástico que se extienden transversalmente en la abertura de la laringe y producen sonido cuando se hace pasar aire forzado entre ellas. Ciertos músculos alteran la tensión de las cuerdas vocales y controlan el tamaño y la forma de la abertura, lo que a la vez determina si se produce o no sonido y qué tono tendrá.
cuerpo basal:

cuerpo calloso: banda de axones que comunica los dos hemisferios cerebrales de los vertebrados.
cuerpo celular: parte de la neurona que contiene la mayoría de los organelos celulares comunes; por lo general es un sitio de integración de los estímulos que llegan a la neurona.
cuerpo de Barr: cromosoma X inactivado de las células de los mamíferos hembra, que tienen dos cromosomas X; normalmente se observa como una mancha oscura en el núcleo.
cuerpo fructífero: estructura reproductora formadora de esporas de ciertos protistas, bacterias y hongos.
cuerpo lúteo: en el ovario de los mamíferos, estructura que se forma a partir del folículo después de la ovulación y que secreta las hormonas estrógeno y progesterona.
cuerpo polar: en la ovogénesis, célula pequeña que contiene un núcleo, pero prácticamente ningún citoplasma; se produce en la primera división meiótica del ovocito primario.
curva de supervivencia: curva que se obtiene cuando el número de individuos de cada edad en la población se grafica contra su edad, que por lo regular se expresa como un porcentaje de su esperanza de vida máxima.
curva J: curva de crecimiento, con forma de J, de una población en crecimiento exponencial en la que números crecientes de individuos se unen a la población durante cada periodo sucesivo.
curva S: curva de crecimiento, con forma de S, que describe a una población de organismos longevos que se introducen en una área nueva; consiste en un periodo inicial de crecimiento exponencial seguido de un índice de crecimiento decreciente y, por último, estabilidad relativa en torno a un índice de crecimiento de cero.
cutícula: recubrimiento céreo o graso de las superficies expuestas de las células epidérmicas de muchas plantas terrestres; favorece la retención de agua.
danza ondulante: forma simbólica de comunicación empleada por las abejas recolectoras para comunicar la ubicación de una fuente de alimentos a sus compañeras de colmena.
de vida libre: no parásito.
deficiencia inmunitaria combinada grave (SCID): trastorno en el que no se forman células inmunitarias, o se forman muy pocas; el sistema inmunitario no puede responder adecuadamente a la invasión de organismos patógenos y el individuo es muy vulnerable a infecciones comunes.
deforestación: tala excesiva de árboles, principalmente en las selvas tropicales, para desmontar tierras destinadas a la agricultura.
demografía: estudio de los cambios en la población humana. Los demógrafos, con la ayuda de complejas tablas de vida, miden y comparan diversos aspectos de las poblaciones humanas en distintos países y regiones del mundo.
dendrita: ramificación que se extiende hacia afuera desde el cuerpo celular de una neurona; se especializa en responder a las señales provenientes del medio externo o de otras neuronas.
dependiente de la densidad: todo factor, como la depredación, que limita el tamaño de una población con más eficacia a medida que la densidad de población aumenta.
deposición ácida: sedimentación de ácido nítrico o sulfúrico, ya sea disuelto en la lluvia (lluvia ácida) o en forma de partículas secas, como resultado de la producción de óxidos de nitrógeno o dióxido de azufre por combustión, principalmente de combustibles fósiles.
depredación: el acto de matar y comer otro organismo vivo.
depredador: organismo que mata y come otros organismos.
deriva genética: cambio en la frecuencia de los alelos de una población pequeña por razones puramente fortuitas.
dermis: capa de piel que está debajo de la epidermis; se compone de tejido conectivo y contiene vasos sanguíneos, músculos, terminaciones nerviosas y glándulas.
desarrollo: proceso por el cual un organismo se convierte en adulto a partir de un óvulo fecundado y que concluye con la muerte.
desarrollo directo: ruta de desarrollo en la que el hijo nace como una versión en miniatura del adulto y su forma corporal no cambia radicalmente al crecer y madurar.
desarrollo indirecto: ruta de desarrollo en la que un descendiente sufre cambios radicales en su forma corporal a medida que madura.
desarrollo sustentable: actividades humanas que satisfacen necesidades presentes para obtener una calidad razonable de vida sin exceder los límites de la naturaleza y sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades.
descomponedor: organismo, generalmente un hongo o una bacteria, que digiere material orgánico secretando enzimas digestivas en el medio; al mismo tiempo, el proceso libera nutrimentos hacia el medio.
desertificación: propagación de los desiertos como resultado de las actividades humanas.
desierto: bioma en el que caen menos de 25 a 50 centímetros (de 10 a 20 pulgadas) de lluvia cada año.
desmosoma: fuerte empalme de una célula con otra que fija células adyacentes entre sí.
desnaturalización: disrupción de la estructura secundaria y/o terciaria de una proteína, dejando intacta su secuencia de aminoácidos. Las proteínas desnaturalizadas ya no pueden desempeñar sus funciones biológicas.
desove: método de fecundación externa en el que los progenitores (macho y hembra) liberan gametos en el agua, y los espermatozoides deben nadar para llegar a los óvulos.
detritívoro: miembro de un variado grupo de organismos, que comprende desde gusanos hasta buitres, que vive de los desperdicios y restos muertos de otros organismos.
deuterostoma: animal que presenta una modalidad de desarrollo embrionario en la que el celoma se forma a partir de evaginaciones del intestino, como en los equinodermos y los cordados.
diabetes mellitus: enfermedad que se caracteriza por defectos en la producción, liberación o recepción de insulina y por altos niveles de glucosa en la sangre que fluctúan con la ingesta de azúcar.
diafragma: 1 en el sistema respiratorio, músculo con forma de domo que constituye el piso de la cavidad torácica y que, cuando se contrae, tira de sí mismo hacia abajo para agrandar la cavidad torácica e introducir aire en los pulmones. **2** En un sentido reproductivo, capuchón de caucho anticonceptivo que ajusta perfectamente sobre el cuello del útero e impide la entrada de espermatozoides, con lo cual se imposibilita el embarazo.
diálisis: difusión pasiva de sustancias a través de una membrana semipermeable artificial.
diatomea: protista que incluye formas fotosintetizadoras con cubiertas externas vítreas compuestas de dos partes; las diatomeas son importantes organismos fotosintetizadores de aguas dulces y saladas.
dicotiledónea: planta con flores que se caracteriza por tener embriones con dos cotiledones, u hojas seminales, modificados para almacenar alimento.
diferenciación: proceso mediante el cual células relativamente poco especializadas, en particular de embriones, se especializan para convertirse en tipos de tejidos determinados.
difosfato de adenosina (ADP): molécula compuesta del azúcar ribosa, la base adenina y dos grupos fosfato; componente del ATP.
difusión: desplazamiento neto de partículas de una región de alta concentración de ellas a una región de baja concentración, inducido por el gradiente de concentración; puede llevarse a cabo dentro de un fluido en su totalidad, o a través de una barrera, como una membrana, por ejemplo.
difusión facilitada: difusión de moléculas a través de una membrana, asistida por poros de naturaleza proteínica o transportadores integrados a la membrana.
difusión simple: difusión de agua, gases disueltos o moléculas solubles en lípidos a través de la bicapa fosfolipídica de una membrana celular.
digestión: proceso de degradación física y química de los alimentos para convertirlos en moléculas capaces de ser absorbidas por las células.
digestión extracelular: degradación física y química del alimento que se lleva a cabo fuera de una célula, normalmente en una cavidad digestiva.
digestión intracelular: degradación química del alimento dentro de células individuales.
dinoflagelado: protista que incluye formas fotosintetizadoras con dos flagelos que se proyectan a través de placas que semejan una armadura; los dinoflagelados son abundantes en los océanos; se reproducen con rapidez y dan origen a las "mareas rojas".
dioico: término que se aplica a los organismos en que los gametos masculino y femenino son producidos por individuos diferentes, no por uno solo.
diploide: célula que tiene pares de cromosomas homólogos.
disacárido carbohidrato que se forma por el enlace covalente de dos monosacáridos.
disco embrionario: en el desarrollo embrionario de los humanos, es el grupo de células planas y de dos capas que separa la cavidad amniótica del saco vitelino.
disco intervertebral: cojincillo de cartílago entre dos vértebras que actúa como amortiguador de impactos.
disolvente: líquido capaz de disolver (dispersar de manera uniforme) otras sustancias en sí mismo.
dispositivo intrauterino (DIU): pequeña espira, objeto curvo de forma irregular o escudo de cobre o plástico que se inserta en el útero; método anticonceptivo que actúa irritando el revestimiento del útero para que no reciba el embrión.
disruptores endocrinos: contaminantes ambientales que interfieren con la función endocrina, en muchos casos trastornando la acción de las hormonas sexuales.
distribución aleatoria: distribución característica de poblaciones en la que la probabilidad de encontrar un individuo es igual en todas las partes de una área.
distribución independiente: véase *ley de distribución independiente de los caracteres.*

distribución agrupada: distribución característica de las poblaciones en las que los individuos se asocian en grupos; éstos pueden ser sociales o estar basados en la necesidad de un recurso localizado.
distribución uniforme: distribución característica de una población que tiene un reparto relativamente regular de los individuos, comúnmente como resultado de un comportamiento territorial.
divergencia: condición en la que un número reducido de neuronas aportan estímulos a un número mayor de células.
división: categoría taxonómica comprendida dentro de un reino y constituida por clases afines de plantas, hongos, bacterias o protistas parecidos a plantas.
división celular: división de una célula en dos; es el proceso de reproducción celular.
división celular meiótica: meiosis seguida de citocinesis.
división celular mitótica: mitosis seguida de citocinesis.
división parasimpática: división del sistema nervioso autónomo que produce respuestas en buena parte involuntarias relacionadas con el mantenimiento de funciones normales del cuerpo, como la digestión.
división simpática: división del sistema nervioso autónomo que produce respuestas en gran medida involuntarias para preparar al cuerpo ante situaciones de tensión o que demandan mucha energía.
DNA helicasa: enzima que ayuda a desenroscar la doble hélice de DNA durante la duplicación de este último.
DNA ligasa: enzima que une los azúcares y fosfatos en una cadena de DNA para formar un esqueleto continuo de azúcar-fosfato.
DNA polimerasa: enzima que enlaza los nucleótidos de DNA para formar una cadena continua, con base en una cadena de DNA preexistente que se usa como plantilla o molde.
DNA recombinante: DNA que ha sido alterado por la recombinación de genes de un organismo distinto, por lo regular de otra especie.
doble enlace covalente: enlace covalente en el que dos átomos comparten dos pares de electrones.
doble hélice: forma de la molécula de DNA de doble cadena; es como una escalerilla retorcida a lo largo con forma de sacacorchos.
dominancia apical: fenómeno mediante el cual el extremo de un brote en crecimiento inhibe el retoño de yemas laterales.
dominancia incompleta: patrón hereditario en el cual el fenotipo heterocigótico es intermedio entre los dos fenotipos homocigóticos.
dominante: alelo capaz de determinar en su totalidad el fenotipo de los heterocigotos, de modo que resulta imposible distinguir a éstos de los individuos homocigóticos con respecto al alelo; en los heterocigotos se enmascara totalmente la expresión del otro alelo (el recesivo).
dominio: la categoría más amplia de clasificación de los organismos; los organismos se clasifican en tres dominios: Bacteria, Archaea y Eukarya.
dopamina: transmisor cerebral que tiene acciones principalmente inhibitorias. La pérdida de neuronas que contienen dopamina da origen a la enfermedad de Parkinson.
dormancia o letargo: estado en el que un organismo no crece ni se desarrolla; se caracteriza generalmente por una reducción de la actividad metabólica y resistencia a condiciones ambientales adversas.
dorsal: referente a la superficie superior, posterior o más alta de un animal cuya cabeza está orientada hacia delante.
ducha vaginal: lavado de la vagina después del coito, en un intento por arrastrar los espermatozoides antes que entren en el útero; es un método anticonceptivo poco eficaz.
duplicación del DNA: proceso de copiado de la molécula de DNA de doble cadena; produce dos dobles hélices idénticas de DNA.
duramen: xilema más viejo que contribuye a la resistencia del tronco de los árboles.
ecdisona: hormona esteroide que inicia la muda en los insectos y otros artrópodos.
ecolocalización: uso de sonidos ultrasónicos, que rebotan en los objetos cercanos, para generar una "imagen" auditiva del medio circundante; la utilizan los murciélagos y los delfines.
ecología: estudio de las relaciones entre los organismos y con su entorno inanimado.
ecosistema: todos los organismos comprendidos en una región definida, junto con su entorno inanimado.
ectodermo: la capa más externa de tejido embrionario que da origen a estructuras como el pelo, la epidermis y el sistema nervioso.
ectotérmico: un animal obtiene la mayor parte de su calor corporal de su ambiente. Las temperaturas corporales de los ectotérmicos varían con la temperatura ambiental.
efecto fundador: tipo de deriva genética en el que una población aislada fundada por un número reducido de individuos desarrolla frecuencias alélicas muy diferentes de las de la población progenitora, como resultado de la inclusión fortuita de cantidades desproporcionadas de ciertos alelos en los fundadores.
efecto invernadero: proceso en el que ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, atrapan la energía de la luz solar en forma de calor, en la atmósfera de un planeta; el vidrio de un invernadero produce el mismo efecto. El resultado, el calentamiento global, se intensifica debido a la producción de estos gases por los seres humanos.
efector: parte del cuerpo (normalmente un músculo o una glándula) que ejecuta respuestas bajo la dirección del sistema nervioso.
eficacia biológica: éxito reproductivo de un organismo; se expresa comúnmente en relación con el éxito reproductivo promedio de todos los individuos de la misma población.
eficacia biológica inclusiva: éxito reproductivo de todos los organismos que tienen un alelo determinado; normalmente se expresa en relación con el éxito reproductivo promedio de todos los individuos de la misma población; compárese con *eficacia biológica.*
El Niño: reducción en la intensidad de los vientos del noreste que causa una alteración generalizada de los patrones del tiempo meteorológico.
electrocardiograma (ECG): resultado de la lectura de un instrumento que registra la actividad eléctrica generada por los potenciales de acción del músculo cardiaco. Estas señales eléctricas se miden por medio de electrodos colocados en lugares específicos de la superficie del cuerpo.
electroforesis en gel: técnica en la que se colocan moléculas (como fragmentos de DNA) en pistas restringidas de una lámina fina de material gelatinoso y se exponen a un campo eléctrico: las moléculas migran con una rapidez que está determinada por ciertas características, como el tamaño.
electrolocalización: producción de señales eléctricas de alta frecuencia mediante un órgano eléctrico situado delante de la cola de los peces débilmente eléctricos; se utiliza para detectar y localizar objetos cercanos.
electrón: partícula subatómica presente en una capa electrónica que rodea el núcleo de un átomo; posee una unidad de carga negativa y muy poca masa.
elemento: sustancia que no se puede descomponer ni transformar en una sustancia más simple a través de medios químicos ordinarios.
elemento de vaso: una de las células de un vaso de xilema; alargada, muerta en la madurez, con gruesas paredes celulares laterales lignificadas para brindar sostén, pero con muchas perforaciones o sin pared en los extremos.
elemento del tubo criboso: una de las células de un tubo criboso, que forman el floema.
embrión: en los animales, etapas del desarrollo que se inician con la fecundación del óvulo y culminan con la eclosión o el nacimiento; en los mamíferos, en particular, etapas iniciales en las que el animal en desarrollo aún no se asemeja al adulto de su especie.
emigración: migración de individuos fuera de una región.
endergónico(a): dícese de una reacción química que necesita una aportación de energía para llevarse a cabo; reacción "cuesta o corriente arriba".
endocitosis: proceso por el que la membrana plasmática fagocita el material extracelular y forma sacos envueltos en membrana que entran en el citoplasma e introducen el material en la célula.
endocitosis mediada por receptores: toma selectiva de moléculas del fluido extracelular por unión a un receptor situado en una fosa recubierta de la membrana plasmática; luego, la fosa recubierta se estrangula para formar una vesícula que se introduce en el citoplasma.
endodermis: la capa más interna de células pequeñas y estrechamente ajustadas de la corteza de la raíz, que forman un anillo en torno del cilindro vascular.
endodermo: la capa tisular embrionaria más interna que da origen a estructuras como el revestimiento de los tractos digestivo y respiratorio.
endoesqueleto: esqueleto rígido interno con articulaciones flexibles que permiten el movimiento.
endometrio: revestimiento nutritivo interior del útero.
endorfina: miembro de un grupo de neuromoduladores cerebrales peptídicos de los vertebrados que, al reducir la sensación de dolor, imita en parte la acción de los narcóticos opiáceos.
endospermo: tejido triploide que almacena alimento en las semillas de las plantas con flores para nutrir al embrión vegetal en desarrollo.
endospora: estructura protectora en reposo de ciertas bacterias con forma de bastón que soporta las condiciones ambientales desfavorables.
endotérmico: animal que obtiene la mayor parte de su calor corporal de las actividades metabólicas. La temperatura corporal de un animal endotérmico permanece relativamente constante dentro de un intervalo de temperaturas ambientales.
energía: capacidad para realizar trabajo.

energía cinética: la energía de movimiento; incluye luz, calor, movimiento mecánico y electricidad.
energía de activación: en una reacción química, la energía necesaria para obligar a las capas electrónicas de los reactivos a juntarse antes de la formación de los productos.
energía potencial: energía "almacenada", normalmente, energía química o energía de posición dentro de un campo gravitacional.
enfermedad autoinmune: trastorno en el que el sistema inmunitario genera anticuerpos contra las células del propio cuerpo.
enfermedad de Huntington: trastorno genético incurable, cuya causa es un alelo dominante, que provoca un deterioro cerebral progresivo con pérdida de coordinación motriz, movimientos agitados, alteraciones de la personalidad y finalmente la muerte.
enfermedad de transmisión sexual: enfermedad que se transmite de una persona a otra por contacto sexual.
enfisema: afección en la que los alveolos pulmonares se tornan frágiles y se rompen, lo que reduce el área para el intercambio de gases.
enlace covalente: enlace químico entre átomos en el que se comparten electrones.
enlace covalente no polar: enlace covalente en el que los electrones se comparten equitativamente.
enlace covalente polar: enlace covalente en el que los electrones se comparten de forma desigual, de manera que un átomo es relativamente negativo y el otro es relativamente positivo.
enlace covalente sencillo: enlace covalente en el que dos átomos comparten un par de electrones.
enlace covalente triple: enlace covalente en el que dos átomos comparten tres pares de electrones.
enlace iónico: enlace químico que se forma debido a la atracción eléctrica entre iones con carga positiva y iones con carga negativa.
enlace peptídico: enlace covalente entre el nitrógeno del grupo amino de un aminoácido y el carbono del grupo carboxilo de un segundo aminoácido; une dos aminoácidos en un péptido o una proteína.
enlace químico: fuerza de atracción entre átomos vecinos que los mantiene unidos en una molécula.
entrecruzamiento: intercambio de segmentos correspondientes de las cromátidas de dos cromosomas homólogos durante la meiosis.
entrenudo: parte de un tallo comprendida entre dos nudos.
entropía: medida del grado de aleatoriedad y desorden en un sistema.
envejecimiento: acumulación gradual de daño aleatorio a las moléculas biológicas esenciales, en particular el DNA, que comienza en una etapa muy temprana de la vida. Con el tiempo, la capacidad del cuerpo para reparar el daño se ve excedida, lo que provoca deterioro en las funciones a todos niveles, desde las células hasta los tejidos y órganos.
envoltura nuclear: sistema de doble membrana que rodea al núcleo de las células eucarióticas; la membrana externa suele continuar en el retículo endoplásmico.
enzima: catalizador de naturaleza proteica que acelera reacciones biológicas específicas.
enzima de restricción: enzima que se aísla generalmente de bacterias y que corta DNA de doble cadena en una secuencia de nucleótidos específica; la secuencia de nucleótidos cortada difiere según la enzima de restricción.
eosinófilo: tipo de leucocito que converge hacia los invasores parasitarios y libera sustancias que los exterminan.
epicótilo: parte del brote embrionario situado arriba de los cotiledones, pero debajo de la punta del brote.
epidermis: en los animales, tejido epitelial especializado que forma la capa externa de la piel; en las plantas, la capa celular más externa de una hoja, una raíz joven o un tallo tierno.
epidídimo: serie de tubos que tienen comunicación con los túbulos seminíferos de los testículos y reciben esperma de ellos.
epiglotis: lengüeta de cartílago de la parte baja de la laringe que cubre el orificio de ésta durante la deglución; dirige el alimento hacia el esófago.
equilibrio genético: estado en el que las frecuencias de alelos y la distribución de genotipos de una población no cambian de una generación a la siguiente.
equilibrio químico: condición en la que la reacción "directa" que convierte los reactivos en productos se lleva a cabo con la misma rapidez que la reacción "inversa", la cual transforma los productos en reactivos, de forma tal que no se altera la composición química.
eritroblastosis fetal: afección en la cual los eritrocitos de un bebé Rh positivo recién nacido son atacados por los anticuerpos que produce su madre Rh negativa, lo que provoca ictericia y anemia. Dos posibles consecuencias de un tratamiento inadecuado son retraso mental y muerte.
eritrocito: glóbulo rojo de la sangre que participa activamente en el transporte de oxígeno y contiene el pigmento rojo hemoglobina.
eritropoyetina: hormona que producen los riñones en respuesta a una deficiencia de oxígeno, lo que estimula la producción de eritrocitos por la médula ósea.
escala pH: escala, con valores de 0 a 14, que se usa para medir la acidez relativa de una solución; una solución con pH = 7 es neutra, un pH de 0 a 7 es ácido y de 7 a 14, alcalino; cada unidad de la escala representa un cambio de 10 veces en la concentración de H^+.
esclerénquima: tipo de célula vegetal con paredes celulares secundarias gruesas y endurecidas, que generalmente muere como última etapa de la diferenciación y brinda sostén y protección al cuerpo de la planta.
esclerótica: capa blanca y fibrosa de tejido conectivo que cubre el exterior del globo ocular y forma la parte blanca del ojo.
escroto: bolsa de piel que contiene los testículos en los mamíferos macho.
esfínter pilórico: músculo circular situado en la base del estómago; regula el paso de quimo al intestino delgado.
esfínter precapilar: anillo de músculo liso entre una arteriola y un capilar que regula el flujo de sangre hacia el lecho capilar.
esófago: conducto muscular por el que pasa el alimento desde la faringe al estómago en los seres humanos y en otros mamíferos.
especiación: proceso de formación de especies en el que una sola especie se divide en dos o más.
especiación alopátrica: especiación que ocurre cuando dos poblaciones están separadas por una barrera física que impide el flujo de genes entre ellas (aislamiento geográfico).
especiación simpátrica: especiación que se da en poblaciones que no están divididas físicamente; por lo regular se debe a aislamiento ecológico o a aberraciones cromosómicas (como poliploidia).
especie: la unidad básica de la clasificación taxonómica consistente en una población o una serie de poblaciones de organismos estrechamente relacionados y similares. En los organismos de reproducción sexual, una especie se define como una población o serie de poblaciones de organismos que se cruzan libremente en condiciones naturales, pero que no se cruzan con miembros de otras especies.
especie clave: especie cuya influencia sobre la estructura comunitaria es mayor de lo que sugeriría su abundancia.
especie en peligro crítico de extinción: especie que enfrenta un riesgo extremo de extinción en estado silvestre y en el futuro inmediato.
especie en peligro de extinción: especie que enfrenta un riesgo muy alto de extinción en estado silvestre y en el futuro inmediato.
especie exótica: especie extraña que se introduce en un ecosistema donde no evolucionó; las especies de este tipo pueden prosperar y desarrollarse mejor que las especies nativas.
especie invasora: organismos con un elevado potencial biótico que se introducen (deliberadamente o por accidente) en ecosistemas donde no evolucionaron y donde encuentran poca resistencia ambiental; tienden a desplazar a las especies nativas.
especie vulnerable: especie que enfrenta un elevado riesgo de extinción en el mediano plazo.
especies amenazadas: todas las especies clasificadas como en peligro de extinción, en peligro crítico de extinción o vulnerables.
espermátida: célula haploide derivada del espermatocito secundario por meiosis II; al diferenciarse, da origen al espermatozoide maduro.
espermatocito primario: célula diploide, derivada del espermatogonio por crecimiento y diferenciación, que sufre meiosis para producir cuatro espermatozoides.
espermatocito secundario: célula haploide grande derivada por meiosis I del espermatocito primario diploide.
espermatóforo: en una variación de la fecundación interna en algunos animales, los machos guardan sus espermatozoides en un recipiente que puede insertarse en el tracto reproductor femenino.
espermatogénesis: proceso por el cual se forman los espermatozoides.
espermatogonio: célula diploide que reviste las paredes de los túbulos seminíferos y que da origen a un espermatocito primario.
espermatozoide: el gameto masculino haploide, normalmente pequeño, móvil y con poco citoplasma en su interior.
espermicida: sustancia que mata espermatozoides; se usa para fines anticonceptivos.
espícula: subunidad del endoesqueleto de las esponjas; está hecha de proteína, sílice o carbonato de calcio.
espina: excrecencia dura y puntiaguda de un tallo; normalmente es una rama modificada.
espiráculo: abertura en el segmento abdominal de los insectos, a través del cual ingresa aire en la tráquea.
espirilo: bacteria en forma de espiral.
espora: en las plantas y los hongos, célula reproductora haploide que puede desarrollarse para convertirse en un adulto sin fusionarse con otra célula (es decir, sin fecundación). En las bacterias y algunos otros organismos, estado del ciclo de vida que es resistente a las condiciones ambientales extremas.

esporangio: estructura en la que se producen las esporas.
esporofito: forma diploide de una planta que produce esporas haploides asexuales por meiosis.
esporozoarios: protistas parásitos con un ciclo de vida complejo en el que por lo regular interviene más de un huésped; se llaman así por su capacidad para formar esporas infecciosas. Un esporozoario muy conocido (género *Plasmodium)* causa el paludismo.
esqueleto: estructura de soporte del cuerpo, sobre el cual actúan los músculos para cambiar la configuración del cuerpo; puede ser externo o interno.
esqueleto apendicular: parte del esqueleto que comprende los huesos de las extremidades y sus uniones al esqueleto axial; cinturas pectoral y pelviana, los brazos, piernas, manos y pies.
esqueleto axial: esqueleto que constituye el eje del cuerpo; incluye el cráneo, la columna vertebral y la caja torácica.
esqueleto de azúcar-fosfato: parte importante de la estructura del DNA; se forma por la unión del azúcar de un nucleótido con el fosfato del nucleótido adyacente en una cadena de DNA.
esqueleto hidrostático: tipo de organismo que utiliza un fluido contenido en compartimientos del cuerpo para brindar soporte y masa contra la que los músculos pueden contraerse.
estambre: estructura reproductora masculina de la flor; consta de filamento y antera, en la que se desarrollan granos de polen.
esterilidad híbrida: reducción de la fecundidad (por lo regular esterilidad absoluta) de los descendientes híbridos de dos especies.
esterilización: método anticonceptivo, por lo general definitivo, en el que se interrumpen las vías por las que normalmente pasan los espermatozoides (conducto deferente) o el óvulo (oviductos); es la forma más común de control de la natalidad.
esteroide: lípido que consiste de cuatro anillos de carbono fusionados, con varios grupos funcionales unidos.
estigma: extremo de un carpelo que captura el polen.
estilo: filamento que conecta el estigma de un carpelo con el ovario que se encuentra en su base.
estoma: abertura ajustable en la epidermis de una hoja, rodeada por un par de células oclusivas, que regula la difusión de dióxido de carbono y agua hacia el interior y el exterior de la hoja.
estolón: tallo que crece horizontalmente y podría dar origen a nuevas plantas en nudos que tocan el suelo.
estómago: bolsa muscular entre el esófago y el intestino delgado, donde se almacena el alimento que se desintegra mecánicamente; sitio donde se inicia la digestión de las proteínas.
estría primitiva: en reptiles, aves y mamíferos, la región del ectodermo del disco embrionario de dos capas a través del cual migran células para formar el mesodermo.
estrógeno: en los vertebrados, hormona sexual femenina que producen las células del folículo del ovario; estimula el desarrollo del folículo, la ovogénesis, el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios y el crecimiento del revestimiento uterino.
estrógenos ambientales: sustancias químicas del ambiente que simulan algunos de los efectos de los estrógenos en los animales.
estroma: el material semifluido dentro de los cloroplastos, donde están incrustados los *grana.*
estructura cuaternaria: la compleja estructura tridimensional de una proteína compuesta por más de una cadena peptídica.
estructura de edades: distribución de machos y hembras en una población de acuerdo con grupos de edad.
estructura primaria: la secuencia de aminoácidos de una proteína.
estructura secundaria: estructura regular repetitiva que adoptan las cadenas proteicas unidas por puentes de hidrógeno; por ejemplo, en una hélice.
estructura terciaria: la compleja estructura tridimensional de una sola cadena peptídica; mantiene su forma gracias a puentes disulfuro entre cisteínas.
estructura vestigial: estructura que no tiene función aparente, pero es homóloga a estructuras funcionales en organismos relacionados y es prueba de la evolución.
estructuras análogas: estructuras con funciones similares y apariencia superficialmente semejante, pero con diferente anatomía, como las alas de los insectos y de las aves. Las semejanzas se deben a presiones ambientales similares, no a una ascendencia común.
estructuras homólogas: estructuras que pueden diferir en cuanto a función, pero que tienen una anatomía similar, al parecer, porque los organismos que las poseen descienden de antepasados comunes.
estuario: zona pantanosa que se forma donde un río desemboca en el océano; en los estuarios la salinidad es muy variable, pero es menor que en el agua de mar y mayor que en el agua dulce.
etileno: hormona vegetal que favorece la maduración de los frutos y la caída de hojas y frutos.
etología: estudio del comportamiento de los animales en condiciones naturales o casi naturales.
eucariota: organismo cuyas células son eucarióticas; las plantas, los animales, los hongos y los protistas son eucariotas.
eucariótico(a): dícese de las células de organismos del dominio Eukarya (plantas, animales, hongos y protistas). Las células eucarióticas tienen material genético encerrado en un núcleo envuelto en una membrana y contienen otros organelos envueltos en membranas.
euglénido: protista que se caracteriza por tener uno o más flagelos, que asemejan látigos y se usan para la locomoción, y un fotorreceptor que detecta la luz. Los euglénidos son fotosintéticos, pero, si se les priva de clorofila, algunos de ellos son capaces de nutrirse de manera heterótrofa.
Eukarya: uno de los tres dominios de la vida; comprende todos los eucariotas (plantas, animales, hongos y protistas).
evolución: proceso continuo de transformación de las especies a través de cambios en las generaciones sucesivas y a partir de formas de vida ya existentes; en sentido estricto, todo cambio en las proporciones de diferentes genotipos en una población, de una generación a la siguiente.
evolución convergente: evolución independiente de estructuras semejantes entre organismos no emparentados, como resultado de presiones ambientales similares; véase *estructuras análogas.*
evolución cultural: cambios que se producen en el comportamiento de una población de animales, en especial de seres humanos, en virtud del aprendizaje de comportamientos adquiridos por miembros de generaciones precedentes.
evolución divergente: cambio evolutivo en el que las diferencias entre dos linajes se vuelven más pronunciadas con el paso del tiempo.
evolución prebiótica: evolución antes de que existiera la vida; en especial, la síntesis abiótica de moléculas orgánicas.
excreción: eliminación de sustancias residuales del organismo; puede llevarse a cabo desde el sistema digestivo, las glándulas cutáneas, el sistema urinario o los pulmones.
exergónico(a): dícese de una reacción química que libera energía, ya sea en forma de calor o de mayor entropía; es una reacción "corriente abajo".
exhalación: acto de eliminar aire de los pulmones como resultado de un relajamiento de los músculos respiratorios.
exocitosis: proceso por el que se encierra material intracelular en un saco de paredes membranosas que se desplaza hasta la membrana plasmática, se fusiona con ésta y libera el material fuera de la célula.
exoesqueleto: esqueleto rígido externo que sostiene el cuerpo, protege los órganos internos y tiene articulaciones flexibles que permiten el movimiento.
exón: segmento de DNA de un gen eucariótico que codifica los aminoácidos de una proteína (véase también *intrón).*
experimento: en el método científico, puesta a prueba de una hipótesis mediante observaciones controladas que llevan a una conclusión.
extensor: músculo que extiende una articulación.
extinción: muerte de todos los miembros de una especie.
extinción masiva: extinción relativamente súbita de muchas formas de vida como resultado de un cambio ambiental. El registro fósil revela cinco extinciones masivas en nuestro tiempo geológico.
factor Rh: proteína presente en los glóbulos rojos de algunas personas (Rh-positivas), pero no en los de otras (Rh-negativas); la exposición de individuos Rh-negativos a sangre Rh-positiva causa la producción de anticuerpos para los glóbulos Rh-positivos.
fagocitosis: tipo de endocitosis en la que extensiones de la membrana plasmática envuelven a partículas extracelulares y las transportan al interior de la célula.
familia: categoría taxonómica comprendida dentro de un orden y que se compone de géneros afines.
faringe: en los vertebrados, cámara situada en la parte posterior de la boca y que forma parte de los sistemas digestivo y respiratorio; en algunos invertebrados, porción del tubo digestivo localizado inmediatamente detrás de la boca.
fecundación: fusión de los gametos haploides masculino y femenino para formar un cigoto.
fecundación cruzada: unión del espermatozoide y el óvulo de dos individuos de la misma especie.
fecundación doble: en las plantas con flores, fusión de dos núcleos de espermatozoides con los núcleos de dos células del gametofito femenino. Un núcleo de espermatozoide se fusiona con el óvulo para formar el cigoto; el segundo núcleo de espermatozoide se fusiona con los dos núcleos haploides de la célula endospérmica primaria para formar una célula endospérmica triploide.

fecundación externa: unión del espermatozoide y el óvulo fuera del cuerpo de uno u otro de los progenitores.
fecundación interna: unión del espermatozoide y el óvulo dentro del cuerpo de la hembra.
fenotipo: características físicas de un organismo; se pueden definir como apariencia externa (por ejemplo, el color de las flores), como conducta o en términos moleculares (como glucoproteínas en los glóbulos rojos).
fermentación: reacciones anaeróbicas que transforman el ácido pirúvico producido por glucólisis en ácido láctico o alcohol y CO_2.
feromona: sustancia producida por un organismo que altera la conducta o el estado fisiológico de otro miembro de la misma especie.
fertilidad en el nivel de reposición (RLF): tasa de nacimiento promedio con la que una población reproductora se remplaza exactamente durante su vida.
feto: etapas tardías del desarrollo embrionario de los mamíferos (después del segundo mes en el caso de los seres humanos), cuando el animal en desarrollo comienza a asemejarse al adulto de la especie.
fibra muscular: célula muscular individual.
fibras de Purkinje: células especializadas del músculo cardiaco que conducen rápidamente señales eléctricas hacia arriba dentro de las paredes ventriculares, provocando su contracción simultánea.
fibrilación: contracciones rápidas, mal coordinadas e ineficaces de las células del músculo cardiaco.
fibrina: proteína coagulante que se forma en la sangre en respuesta a una herida; se une a otras moléculas de fibrina y constituye una matriz en torno a la cual se forma un coágulo sanguíneo.
fibrinógeno: forma inactiva de la proteína coagulante fibrina. El fibrinógeno se convierte en fibrina gracias a la enzima trombina, que se produce como respuesta a una lesión.
fibrosis quística: trastorno hereditario que se caracteriza por la acumulación de sal en los pulmones y la producción de una mucosidad espesa y pegajosa que obstruye las vías respiratorias, restringe el intercambio de aire y favorece las infecciones.
ficocianina: pigmento azul o púrpura que se encuentra en las membranas de los cloroplastos y sirve como molécula auxiliar para recolectar luz en los fotosistemas tilacoides.
fiebre: elevación de la temperatura corporal provocada por sustancias químicas (pirógenos) que liberan los leucocitos en respuesta a una infección.
fijación de carbono: etapas iniciales del ciclo C_3, en las que el dióxido de carbono reacciona con el bisfosfato de ribulosa para formar una molécula orgánica estable.
fijación de nitrógeno: proceso que combina nitrógeno atmosférico con hidrógeno para formar amonio (NH_4^+).
filamento: en las flores, el pedúnculo del estambre, que porta una antera en la punta.
filamento delgado: en el sarcómero, cadena proteica que interactúa con filamentos gruesos para producir contracción muscular; se compone primordialmente de actina, con proteínas accesorias.
filamento grueso: en el sarcómero, haz de miosina que interactúa con filamentos delgados para producir contracción muscular.
filamento intermedio: parte del citoesqueleto de las células eucarióticas que probablemente tiene como función principal el sostén; se compone de varios tipos de proteínas.
filogenia: la historia evolutiva de un grupo de especies.
filotráquea o pulmón libro: estructura compuesta de capas delgadas de tejido, semejantes a las páginas de un libro, que se encuentra encerrada en una cámara y sirve como órgano respiratorio de ciertos tipos de arácnidos.
filtración: dentro de la cápsula de Bowman de cada nefrona del riñón, proceso por el que se bombea la sangre a presión, a través de los capilares permeables de los glomérulos para forzar la salida de agua, residuos disueltos y nutrimentos.
filtrado: líquido que se obtiene de una filtración; en los riñones, el líquido producto de la filtración de la sangre a través de los capilares glomerulares.
fimbria: en los mamíferos hembra, prolongaciones ciliadas del oviducto, parecidas a dedos, que empujan el óvulo desde el ovario hacia el oviducto durante la ovulación.
fisión: reproducción asexual que tiene lugar cuando un cuerpo se divide en dos organismos más pequeños y completos.
fisión binaria: proceso por el cual una bacteria se divide a la mitad y produce dos descendientes idénticos.
fitocromo: pigmento vegetal sensible a la luz que media muchas respuestas de las plantas a la luz, como la floración, el alargamiento de los tallos y la germinación de las semillas.
fitoplancton: protistas fotosintetizadores que abundan en los ambientes marinos y de agua dulce.
flagelo: extensión larga de la membrana plasmática, parecida a un pelo; en las células eucarióticas, contiene microtúbulos dispuestos según un patrón de 9 + 2. El movimiento de los flagelos impulsa a ciertas células en los medios líquidos.
flexor: músculo que flexiona (reduce el ángulo de) una articulación.
floema: tejido conductor de las plantas vasculares que transporta verticalmente una solución concentrada de azúcares en la planta.
floema primario: floema de tallos jóvenes producidos a partir de un meristemo apical.
floema secundario: floema producido a partir de las células que surgen hacia el exterior del cambium vascular.
flor: estructura reproductora de las angiospermas.
flor completa: flor que tiene las cuatro partes florales (sépalos, pétalos, estambres y carpelos).
flor incompleta: flor a la que le falta alguna de las cuatro partes florales (sépalos, pétalos, estambres o carpelos).
florígena: miembro de un grupo de hormonas vegetales que activan o inhiben la floración; la duración del día es un estímulo.
fluido: un líquido o gas.
flujo de genes: desplazamiento de alelos de una población a otra como resultado de la migración de organismos individuales.
flujo en masa: movimiento armónico de muchas moléculas de un gas o líquido, de una región de mayor presión a una de presión más reducida.
folículo: en el ovario de los mamíferos hembra, el ovocito y las células accesorias que lo rodean.
folículo piloso: glándula de la dermis en los mamíferos, formada a partir de tejido epitelial, que produce el pelo.
foraminífero: protista acuático (principalmente marino) que se caracteriza por tener una concha de carbonato de calcio muy elaborada.
formación reticular: red difusa de neuronas que se extiende desde el rombencéfalo, pasando por el mesencéfalo y llega a las regiones inferiores del prosencéfalo; participa en el filtrado de señales sensoriales y en la regulación de la información que se retransmite a los centros conscientes del cerebro para atención posterior.
fosfolípido: lípido que consiste en glicerina unida a dos moléculas de ácido graso y un grupo fosfato, el cual lleva otro grupo de átomos que por lo regular está cargado y contiene nitrógeno. Una doble capa de fosfolípidos es un componente de todas las membranas celulares.
fósil: restos de un organismo muerto, normalmente preservados en roca; pueden ser huesos o madera petrificada; conchas; impresiones de formas corporales, como plumas, piel u hojas; o marcas dejadas por organismos, como huellas, por ejemplo.
fotón: la unidad más pequeña de energía luminosa.
fotopigmento: sustancia química de células fotorreceptoras que, al incidir en ella la luz, cambia su conformación molecular.
fotorreceptor: célula receptora que responde a la luz; en vertebrados, los bastones y conos.
fotorrespiración: serie de reacciones en las plantas en las que el O_2 remplaza al CO_2 durante el ciclo C_3, lo que impide la fijación de carbono; este proceso de desecho domina cuando las plantas C_3 se ven obligadas a cerrar sus estomas para evitar la pérdida de agua.
fotosíntesis: serie completa de reacciones químicas en las que se utiliza la energía de la luz para sintetizar moléculas orgánicas energéticas, por lo general carbohidratos, a partir de moléculas inorgánicas poco energéticas, generalmente dióxido de carbono y agua.
fotosistema: en las membranas tilacoides, un complejo recolector de luz y su correspondiente sistema de transporte de electrones.
fototáctico: capaz de detectar y responder a la luz.
fototropismo: crecimiento con respecto a la dirección de la luz.
fóvea: en la retina de los vertebrados, la región central donde se enfocan las imágenes; contiene conos en una disposición muy cercana.
fragmentación del hábitat: proceso por el que las actividades humanas y el desarrollo dividen un hábitat de vida silvestre, dejando extensiones que no son suficientemente grandes para sostener poblaciones viables.
fragmento de restricción: trozo de DNA que se aisló cortando un trozo más grande de DNA con enzimas de restricción.
frecuencia de alelos: en el caso de cualquier gen específico, la proporción relativa de cada alelo de ese gen en una población.
fruto: en las plantas con flor, ovario maduro (más, en ciertos casos, otras partes de la flor) que contiene las semillas.
fuente: en las plantas, cualquier estructura que sintetiza activamente azúcares y desde la cual se transportará fluido de floema.
gameto: célula sexual haploide que se forma en los organismos que se reproducen sexualmente.
gametofito: etapa multicelular haploide del ciclo vital de las plantas.
ganglio: agrupamiento de neuronas.
ganglio de raíz dorsal: ganglio situado en la rama dorsal (sensorial) de cada nervio espinal,

que contiene los cuerpos celulares de las neuronas sensoriales.
ganglio linfático: pequeña estructura que filtra linfa; contiene linfocitos y macrófagos que inactivan a partículas ajenas como bacterias.
gas de invernadero: gas, como el dióxido de carbono o el metano, que atrapa la energía de la luz solar en forma de calor, en la atmósfera de un planeta; gas que participa en el efecto invernadero.
gastrina: hormona producida por el estómago; estimula la secreción de ácido en respuesta a la presencia de alimento.
gástrula: en el desarrollo animal, embrión de tres capas celulares llamadas ectodermo, mesodermo y endodermo. Generalmente, el endodermo encierra el intestino primitivo.
gastrulación: proceso por el que una blástula se transforma en gástrula; incluye la formación del endodermo, el ectodermo y el mesodermo.
gemación: reproducción asexual por crecimiento de una copia en miniatura del animal adulto, o yema, sobre el cuerpo del progenitor. La yema se separa e inicia una existencia independiente.
gen: unidad de herencia que codifica la información necesaria para especificar la secuencia de aminoácidos de las proteínas y, por lo tanto, rasgos determinados.
gen egoísta: concepto de que los genes, y no los organismos, son la unidad de selección natural.
generación espontánea: la propuesta de que seres vivos pueden surgir de materia inanimada.
género: categoría taxonómica incluida dentro de una familia y que comprende especies que guardan una relación muy estrecha entre sí.
genética poblacional: estudio de la frecuencia, distribución y herencia de alelos en una población.
genoma: juego completo de genes que posee un miembro de una especie determinada.
genotipo: composición genética de un organismo; los alelos de cada gen que el organismo tiene en realidad.
germinación: crecimiento y desarrollo de una semilla, espora o grano de polen.
giberelina: hormona vegetal que estimula la germinación de la semilla, el desarrollo del fruto y la división y alargamiento de las células.
gimnospermas: plantas de semilla sin flor, como las coníferas, las cicadáceas y el gingko.
giro: distribución aproximadamente circular de corrientes oceánicas que se forma porque los continentes interrumpen el flujo de aquéllas; gira en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en sentido contrario en el hemisferio sur.
glándula: grupo de células especializadas en secretar sustancias como sudor u hormonas, por ejemplo.
glándula bulbouretral: en los mamíferos macho, glándula que secreta un líquido mucoso básico que forma parte del semen.
glándula endocrina: glándula sin conductos productora de hormonas; se compone de células que liberan sus secreciones en el fluido extracelular, desde donde las secreciones se difunden al interior de los capilares cercanos.
glándula exocrina: glándula que libera sus secreciones hacia conductos que llevan al exterior del cuerpo o al interior del tracto digestivo.
glándula mamaria: glándula que produce leche y que los mamíferos usan para alimentar a sus crías.
glándula pineal: pequeña glándula dentro del cerebro que secreta melatonina; controla los ciclos reproductivos estacionales de algunos mamíferos.
glándula sebácea: glándula de la dermis, formada a partir de tejido epitelial, que produce la sustancia oleosa llamada sebo para lubricar la epidermis.
glándula suprarrenal: glándula endocrina de los mamíferos, adyacente a los riñones; secreta hormonas cuya función tiene que ver con la regulación del agua y la respuesta al estrés.
glicerol: alcohol de tres átomos de carbono al que se enlazan de manera covalente ácidos grasos para formar grasas y aceites.
glomérulo: densa red de capilares de paredes finas, situada dentro de la cápsula de Bowman de cada nefrona del riñón, donde la presión sanguínea fuerza el paso de agua y nutrimentos disueltos a través de las paredes de los capilares para su filtración en la nefrona.
glucagón: hormona que secreta el páncreas; aumenta el azúcar en la sangre estimulando el desdoblamiento del glucógeno (a glucosa) en el hígado.
glucocorticoides: clase de hormonas que libera la corteza suprarrenal en respuesta a la presencia de ACTH; aumentan la disponibilidad de energía en el organismo estimulando la síntesis de glucosa.
glucógeno: polímero de glucosa largo y ramificado que los animales almacenan en los músculos y el hígado y que se metaboliza como fuente de energía.
glucólisis: serie de reacciones que se llevan a cabo en el citoplasma para descomponer la glucosa en dos moléculas de ácido pirúvico y producir dos moléculas de ATP; no necesita oxígeno, pero puede llevarse a cabo en presencia de él.
glucoproteína: proteína que está unida a un carbohidrato.
glucosa: el monosacárido más común, cuya fórmula es $C_6H_{12}O_6$; casi todos los polisacáridos, como la celulosa, el almidón y el glucógeno, se componen de subunidades de glucosa unidas entre sí por enlaces covalentes.
gónada: órgano donde se forman las células reproductoras; en los machos, los testículos, y en las hembras, los ovarios.
gonadotropina coriónica (GC): hormona que secreta el corion (una de las membranas fetales); mantiene la integridad del cuerpo lúteo durante las primeras etapas del embarazo.
gonorrea: infección bacteriana de transmisión sexual de los órganos reproductores; si no se trata, puede provocar esterilidad.
gradiente: diferencia de concentración, presión o carga eléctrica entre dos regiones.
gradiente de concentración: diferencia de concentración de una sustancia entre dos partes de un fluido o a través de una barrera, como una membrana, por ejemplo.
granum (plural, *grana):* pila de tilacoides de los cloroplastos.
grasa (molecular): lípido que se compone de tres ácidos grasos saturados unidos por enlaces covalentes a glicerol; es sólida a temperatura ambiente.
graso (tejido): tejido adiposo; tejido conectivo que almacena lípidos; se compone de células repletas de triglicéridos.
gravitropismo: crecimiento con respecto a la dirección de la gravedad.
grelina: hormona producida por el estómago y la parte superior del intestino delgado, cuando no contienen alimento, para estimular el apetito.
grupo funcional: uno de varios grupos de átomos que es común encontrar en las moléculas orgánicas, como los grupos hidrógeno, hidroxilo, amino, carboxilo y fosfato, que determina las características y la reactividad química de la molécula.
guanina: base nitrogenada presente en el DNA y en el RNA; su abreviatura es *G*.
gusto: sentido químico para detectar sustancias disueltas en agua o saliva; en los mamíferos, percepciones de sabor dulce, agrio, amargo, salado y umami producidas por la estimulación de receptores en la lengua.
habituación: aprendizaje simple que se caracteriza por la disminución de la respuesta a un estímulo inocuo que se repite.
halófilo: literalmente "amante de la sal"; organismo que prospera en medios salinos.
haploide: célula que tiene un solo miembro de cada par de cromosomas homólogos.
haz vascular: cadena de xilema y floema de las hojas y tallos; en las hojas suele llamarse *vena.*
heces: material residual semisólido que queda en el intestino una vez que ha terminado la absorción y que se evacua a través del ano. Las heces contienen residuos no digeribles y bacterias.
hélice: estructura secundaria de una proteína, enroscada como un resorte.
heliozoario: protista acuático (principalmente de agua dulce) semejante a los animales; algunos heliozoarios tienen conchas muy elaboradas a base de sílice.
hemisferio cerebral: una de las dos mitades casi simétricas del cerebro, enlazadas por una banda ancha de axones conocida como cuerpo calloso.
hemocele: cavidad sanguínea del cuerpo de ciertos invertebrados donde la sangre baña los tejidos directamente; parte de un sistema circulatorio abierto.
hemodiálisis: procedimiento que estimula la función renal en los individuos con riñones dañados o ineficaces; se desvía la sangre fuera del cuerpo, se filtra por medios artificiales y se devuelve al cuerpo.
hemofilia: enfermedad recesiva vinculada al género, en la cual la sangre no se coagula de forma normal.
hemoglobina: proteína que contiene hierro y que imparte a los eritrocitos su color rojo; se une al oxígeno en los pulmones y libera este elemento en los tejidos.
hendidura branquial de la faringe: abertura situada en la parte posterior de la boca, que conecta el tubo digestivo con el entorno exterior; presente (en alguna etapa de la vida) en todos los cordados.
herbívoro: literalmente "que come plantas"; organismo que se alimenta directa y exclusivamente de productores; consumidor primario.
herencia: transmisión genética de características del progenitor a sus descendientes.
herencia de características adquiridas: hipótesis que afirma que el cuerpo de los organismos cambia a lo largo de su vida por el uso y la falta de uso, y que estos cambios se heredan a los descendientes.
herencia poligénica: patrón de herencia en el que las interacciones de dos o más genes funcionalmente similares determinan el fenotipo.
hermafrodita: organismo que posee órganos sexuales tanto masculinos como femeninos. Algunos animales hermafroditas se autofecundan; otros deben intercambiar células sexuales con una pareja.
herpes genital: enfermedad de transmisión sexual causada por un virus; origina la formación

de dolorosas ampollas en los órganos genitales y en la piel cercana a ellos.
heterocigótico: que tiene dos alelos diferentes de un mismo gen; también se usa el término *híbrido* con el mismo significado.
heterótrofo: literalmente "que se alimenta de otros"; organismo que se alimenta de otros organismos; consumidor.
hibridación de DNA-DNA: técnica mediante la cual se separa el DNA de dos especies en cadenas individuales y luego se permite que se forme de nuevo; puede existir DNA híbrido de doble cadena de dos especies si la secuencia de nucleótidos es complementaria. Cuanto mayor es el grado de hibridación, más próxima es la afinidad evolutiva de las dos especies.
híbrido: organismo cuyos progenitores difieren en al menos una característica genéticamente determinada; también se aplica a los descendientes de progenitores de especies diferentes.
hibridoma: célula que se produce al fusionarse una célula productora de anticuerpos con una célula de mieloma; se usa para producir anticuerpos monoclonales.
hidrofílico(a): dícese de una sustancia que se disuelve fácilmente en agua o de partes de una molécula grande que forman puentes de hidrógeno con el agua.
hidrofóbico(a): dícese de una sustancia que no se disuelve en agua.
hidrólisis: reacción química en la que se rompe un enlace covalente por medio de la adición de hidrógeno al átomo de un lado del enlace original y de un grupo hidroxilo al átomo del otro lado; es el inverso de la síntesis por deshidratación.
hifa: estructura parecida a un hilo que se compone de células alargadas, por lo general con muchos núcleos haploides; muchas hifas constituyen el cuerpo fúngico.
hígado: órgano con diversas funciones que incluyen producción de bilis, almacenamiento de glucógeno y eliminación de la toxicidad de venenos.
hipermetropía: incapacidad para enfocar la vista en objetos cercanos; se debe a que el globo ocular es un poco más corto de lo normal o a que la córnea es demasiado plana.
hipertensión: presión arterial sanguínea que está crónicamente por encima del nivel normal.
hipertónica: solución que tiene una concentración mayor de partículas disueltas (y, por lo tanto, una concentración menor de agua libre) que el citoplasma de una célula.
hipocampo: parte del prosencéfalo de los vertebrados que es importante para las emociones y, en especial, para el aprendizaje.
hipocótilo: parte del brote embrionario que se localiza por debajo de los cotiledones, pero por encima de la raíz.
hipófisis (o pituitaria): glándula endocrina situada en la base del cerebro que produce varias hormonas, muchas de las cuales influyen en la actividad de otras glándulas.
hipófisis anterior: lóbulo de la glándula hipófisis que produce prolactina y hormona del crecimiento, además de hormonas que regulan la producción hormonal de otras glándulas.
hipófisis posterior: lóbulo de la glándula hipófisis que es una excrecencia del hipotálamo y que libera una hormona antidiurética y oxitocina.
hipotálamo: región del encéfalo que regula la actividad secretora de la glándula hipófisis; sintetiza, almacena y libera ciertas hormonas peptídicas; dirige las respuestas del sistema nervioso autónomo.
hipótesis: en el método científico, suposición basada en observaciones previas, que se plantea como explicación del fenómeno observado y se usa como base para posteriores observaciones o experimentos.
hipótesis de un gen, una proteína: premisa de que cada gen codifica la información para sintetizar una sola proteína.
hipótesis endosimbiótica: hipótesis según la cual ciertos organelos, en especial los cloroplastos y las mitocondrias, surgieron como resultado de asociaciones mutuamente provechosas entre los antepasados de las células eucarióticas y bacterias capturadas que vivían en el interior del citoplasma de la célula preeucariótica.
hipotónica: solución que tiene una concentración menor de partículas disueltas (y, por lo tanto, una mayor concentración de agua libre) que el citoplasma de una célula.
histamina: sustancia que liberan ciertas células en respuesta al daño tisular y a la invasión del cuerpo por sustancias extrañas; favorece la dilatación de las arteriolas y la permeabilidad de los capilares y activa algunas de las reacciones de la respuesta inflamatoria.
hoja: excrecencia de un tallo, normalmente plana y capaz de fotosintetizar.
homeobox: secuencia de DNA que contiene el código de ciertas proteínas especiales de 60 aminoácidos que activan o desactivan genes encargados de regular el desarrollo; estas secuencias especifican la diferenciación de las células embrionarias.
homeostasis: mantenimiento de un ambiente relativamente constante, necesario para el funcionamiento óptimo de las células, mediante la actividad coordinada de numerosos mecanismos reguladores que incluyen los sistemas respiratorio, endocrino, circulatorio y excretor.
homínido: ser humano o antepasado prehistórico de los seres humanos, a partir del australopiteco, cuyos fósiles datan de hace al menos 4.4 millones de años.
homocigótico: organismo que tiene dos copias del mismo alelo de un gen determinado; también se dice que es *de raza pura.*
homólogo: cromosoma que es similar en cuanto a apariencia e información genética a otro cromosoma, con el que se aparea durante la meiosis; también recibe el nombre de *cromosoma homólogo.*
hongo cigoto (zigomicetos): hongo de la división Zygomycota, que incluye las especies que hacen que se pudra la fruta y el pan se enmohezca.
hongo de clava: hongo de la división Basidiomycota, cuyos miembros (entre los que se cuentan los champiñones, los bejines y los hongos de repisa) se reproducen mediante basidiosporas.
hongo de saco (ascomiceto): hongo de la división Ascomycota, cuyos miembros forman esporas en una especie de saco llamado *ascus*.
hongo imperfecto: hongo de la división Deuteromycota; en ninguna especie de esta división se ha observado la formación de estructuras reproductoras sexuales.
hormona: sustancia sintetizada por un grupo de células, que se secreta y luego se transporta mediante el torrente sanguíneo hasta otras células, cuya actividad se modifica al recibirla.
hormona adrenocorticotrópica (ACTH): hormona que secreta la hipófisis anterior y que estimula la liberación de hormonas por la corteza suprarrenal, especialmente como respuesta al estrés.
hormona antidiurética (ADH): hormona que se produce en el hipotálamo y que la hipófisis posterior libera en el torrente sanguíneo cuando el volumen de sangre es bajo; aumenta la permeabilidad al agua del túbulo distal y del tubo colector, con lo que se reabsorbe más agua en el torrente sanguíneo.
hormona del crecimiento: hormona liberada por la hipófisis anterior; estimula el crecimiento, en especial el del esqueleto.
hormona esteroide: clase de hormona cuya estructura química (cuatro anillos de carbono unidos a diversos grupos funcionales) es similar a la del colesterol; los ovarios y la placenta, los testículos y la corteza suprarrenal secretan esteroides, que son lípidos.
hormona estimuladora de la tiroides (TSH): hormona liberada por la hipófisis anterior que estimula la glándula tiroides para que libere hormonas.
hormona estimuladora de melanocitos: hormona liberada por la hipófisis anterior que regula la actividad de los pigmentos cutáneos en algunos vertebrados.
hormona foliculoestimulante (FSH): hormona producida por la hipófisis anterior; estimula la espermatogénesis en los machos y el desarrollo del folículo en las hembras.
hormona inhibidora: hormona que secretan las células neurosecretoras del hipotálamo; inhibe la liberación de hormonas específicas de la hipófisis anterior.
hormona liberadora: hormona secretada por el hipotálamo que causa la liberación de hormonas específicas por la hipófisis anterior.
hormona liberadora de gonadotropina (GnRH): hormona que producen las células neurosecretoras del hipotálamo; estimula la liberación de FSH y LH por las células de la hipófisis anterior. La GnRH interviene en el ciclo menstrual y en la espermatogénesis.
hormona luteinizante (LH): hormona producida por la hipófisis anterior que estimula la producción de testosterona en los machos y el desarrollo del folículo, la ovulación y la producción del cuerpo lúteo en las hembras.
hormona paratiroidea: hormona liberada por la glándula paratiroides que trabaja junto con la calcitonina para regular la concentración de iones calcio en la sangre.
hormona peptídica: hormona que consiste en una cadena de aminoácidos; incluye proteínas pequeñas que funcionan como hormonas.
hormona vegetal: sustancias que regulan el crecimiento de las plantas: auxina, giberelinas, citocininas, etileno y ácido abscísico; se parecen un poco a las hormonas animales en tanto que son sustancias producidas por células de un lugar que influyen en el crecimiento o la actividad metabólica de otras células, casi siempre a cierta distancia dentro del cuerpo de la planta.
hormonas endocrinas: mensajes químicos producidos por células especializadas y liberadas en el sistema circulatorio. Provocan un cambio prolongado o temporal en las células blanco que portan receptores específicos para esas hormonas.
hormonas locales: término general para designar a las moléculas mensajeras producidas por la mayoría de las células y liberadas en el medio inmediato de éstas. Las hormonas locales, que incluyen las prostaglandinas y citocinas, influyen en las células circunvecinas que tienen los receptores adecuados.
huella ecológica: estimación del área de la superficie terrestre que se requiere para producir los recursos que utilizamos, así como para ab-

sorber los desechos que producimos; se expresa en acres de productividad promedio.
hueso: tejido conectivo mineralizado y duro que es uno de los componentes principales del endoesqueleto de los vertebrados; brinda sostén y puntos para la fijación de los músculos.
hueso compacto: hueso externo duro y resistente; se compone de osteones.
hueso esponjoso: tejido óseo poroso y ligero del interior de los huesos; ubicación de la médula ósea.
huésped: organismo presa en cuya superficie o en cuyo interior vive un parásito; resulta dañado con esa relación.
huevo amniótico: huevo de los reptiles y las aves; contiene un amnios que encierra un embrión en un ambiente acuoso, lo que permite que el huevo se deposite en tierra firme.
humor acuoso: líquido transparente y acuoso que está entre la córnea y el cristalino del ojo.
humor vítreo: sustancia gelatinosa transparente que llena la cámara grande del ojo entre el cristalino y la retina.
implantación: proceso mediante el cual el embrión temprano se inserta en el revestimiento del útero.
impronta: proceso por el cual un animal forma una asociación con otro animal o con un objeto del medio durante un periodo sensitivo de su desarrollo.
incompatibilidad gamética: incapacidad de los espermatozoides de una especie para fecundar el óvulo de otra especie.
incompatibilidad mecánica: incapacidad de organismos macho y hembra para intercambiar gametos, generalmente porque sus estructuras reproductoras son incompatibles.
independiente de la densidad: todo factor que limita el tamaño y el crecimiento de una población, cualquiera que sea su densidad.
índice de masa corporal (IMC): cifra que se calcula a partir del peso y la estatura de un individuo y que se utiliza para estimar la grasa corporal. La fórmula es: peso (en kg)/estatura^2 (en metros cuadrados).
inducción: proceso mediante el cual un grupo de células hace que otras células se diferencien para formar un tipo de tejido específico.
ingeniería genética: modificación dirigida del material genético para alcanzar metas específicas.
inhalación: acto de aspirar aire al interior de los pulmones agrandando la cavidad torácica.
inhibición competitiva: proceso por el cual dos o más moléculas de estructura similar compiten por el sitio activo de una enzima.
inhibición por retroalimentación: en las reacciones químicas mediadas por enzimas, condición en la que el producto de una reacción inhibe una o más de las enzimas que intervienen en la síntesis del producto.
inmigración: migración de individuos hacia una región.
inmunidad humoral: respuesta inmunitaria en la que los anticuerpos que circulan en la sangre desactivan o destruyen las sustancias extrañas.
inmunidad mediada por células: respuesta inmunitaria en la que las células o sustancias extrañas se destruyen al tener contacto con las células T.
innato: congénito, instintivo; determinado por la constitución genética del individuo.
inorgánico(a): dícese de toda molécula que no contiene carbono e hidrógeno.
insaturado: ácido graso que tiene menos del número máximo de átomos de hidrógeno unidos a su esqueleto de carbono; un ácido graso con uno o más dobles enlaces en su esqueleto de carbono.
insensibilidad a los andrógenos: afección poco común en la que un individuo con cromosomas XY tiene apariencia femenina porque las células de su cuerpo no responden a las hormonas masculinas que están presentes.
inserción: punto de fijación de un músculo al hueso relativamente móvil de un lado de una articulación.
instintivo: innato, congénito; determinado por la constitución genética del individuo.
insulina: hormona que secreta el páncreas; reduce el nivel de azúcar en la sangre estimulando la conversión de la glucosa a glucógeno en el hígado.
integración: en las neuronas, proceso consistente en sumar las señales eléctricas provenientes de estímulos sensoriales o de otras neuronas para determinar las señales de salida apropiadas.
intensidad: fuerza de la estimulación o de la respuesta.
interacción hidrofóbica: tendencia de las moléculas hidrofóbicas a agruparse cuando se sumergen en agua.
interfase: etapa del ciclo celular que se desarrolla entre dos divisiones; etapa en la que los cromosomas se duplican y se llevan a cabo otras funciones celulares, como el crecimiento, el movimiento y la adquisición de nutrimentos.
interferón: proteína que liberan ciertas células infectadas por virus; incrementa la resistencia de otras células, no infectadas, al ataque viral.
intestino delgado: porción del tracto digestivo situada entre el estómago y el intestino grueso, en la que se efectúa la mayor parte de la digestión y la absorción de nutrimentos.
intestino grueso: sección final del tracto digestivo; consta del colon y el recto.
intolerancia a la lactosa: capacidad inadecuada para descomponer el azúcar de la leche; es provocada por una baja secreción de lactasa. Los síntomas incluyen inflamación, dolor y diarrea después de consumir cualquier producto lácteo.
intrón: segmento de DNA de un gen eucariótico que no codifica aminoácidos de una proteína.
invertebrado: animal que no tiene columna vertebral.
ion: átomo o molécula con carga eléctrica; átomo o molécula que tiene un exceso de electrones y, por lo tanto, carga negativa, o ha perdido electrones y, por consiguiente, tiene carga positiva.
iris: tejido muscular pigmentado del ojo de los vertebrados que rodea y controla el tamaño de la pupila, a través de la cual entra la luz.
isotónica: solución que tiene la misma concentración de partículas disueltas (y, por lo tanto, la misma concentración de agua libre) que el citoplasma de una célula.
isótopo: una de las diversas formas de un elemento, cuyos núcleos contienen el mismo número de protones, pero diferentes números de neutrones.
jerarquía de dominancia: disposición social en la que un grupo de animales, generalmente mediante interacciones agresivas, establece un rango en algunos o en todos sus integrantes, el cual determina el acceso a los recursos.
jugo pancreático: mezcla de agua, bicarbonato de sodio y enzimas que el páncreas secreta al intestino delgado.
kuru: enfermedad cerebral degenerativa, descubierta en la tribu caníbal Fore, de Nueva Guinea, causada por un prión.
La Niña: fenómeno inverso del patrón meteorológico conocido como El Niño.
labio: cada uno de los dos pliegues de la piel en las estructuras externas del sistema reproductor femenino de los mamíferos.
lactancia: secreción de leche de las glándulas mamarias.
lactosa: disacárido compuesto de glucosa y galactosa; se encuentra en la leche de los mamíferos.
ladilla: parásito artrópodo que infesta a los seres humanos; se transmite por contacto sexual.
lago eutrófico: lago que recibe aportaciones suficientemente grandes de sedimentos, material orgánico y nutrimentos inorgánicos de su entorno para sostener comunidades densas; es turbio y con poca penetración luminosa.
lago oligotrófico: lago muy escaso de nutrimentos y por tanto transparente, con gran penetración de luz.
lámina media: delgada capa de polisacáridos viscosos, como pectina, y otros carbohidratos que separa y mantiene unidas las paredes celulares primarias de células vegetales adyacentes.
lámina plegada: forma de estructura secundaria que presentan ciertas proteínas, como la seda, en la que muchas cadenas proteicas están tendidas una al lado de la otra, unidas entre sí por puentes de hidrógeno.
laringe: porción de las vías respiratorias entre la faringe y la tráquea; contiene las cuerdas vocales.
larva: forma inmadura de un organismo con desarrollo indirecto previo a la metamorfosis hacia la forma adulta; incluye las orugas de polillas y mariposas, así como las larvas de las moscas.
leguminosa: miembro de una familia de plantas que se caracterizan por engrosamientos en las raíces que albergan bacterias fijadoras de nitrógeno; incluyen el frijol de soya, los lupinos, la alfalfa y el trébol.
lente: objeto transparente que refracta los rayos de luz.
leptina: hormona peptídica. Una de las funciones de la leptina, que es liberada por células grasas o adipocitos, es ayudar al cuerpo a controlar sus reservas de lípidos y regular el peso.
leucocito: cualquiera de los glóbulos blancos que circulan en la sangre.
ley de distribución independiente de los caracteres: herencia independiente de dos o más rasgos distintos; establece que los alelos de un rasgo distribuyen a los gametos con independencia de los alelos para otros rasgos.
ley de la segregación: conclusión de Gregor Mendel de que cada gameto sólo recibe un gen del par de cada progenitor para cada rasgo.
leyes de la termodinámica: leyes físicas que definen las propiedades básicas y el comportamiento de la energía.
ligado al sexo: dícese de un patrón de herencia característico de genes ubicados en un tipo de cromosoma sexual (por ejemplo, X) y que no se encuentra en el otro tipo (por ejemplo, Y); también se dice ligado a X. En la herencia ligada al sexo, los rasgos están bajo el control de genes incluidos en el cromosoma X; las hembras presentan el rasgo dominante a menos que sean homocigóticas recesivas, mientras que los machos expresan el alelo que está en su único cromosoma X.
ligadura de trompas: procedimiento quirúrgico en el que se cortan y atan los oviductos de una mujer de forma que el huevo no pueda llegar al útero, dejándola infértil.
ligamento: banda de tejido conectivo resistente que une dos huesos.

ligamiento: herencia de ciertos genes como un grupo porque forman parte del mismo cromosoma. Los genes ligados no presentan distribución independiente.
lignina: material duro incrustado en las paredes celulares de las plantas vasculares y que brinda sostén en las especies terrestres; una de las primeras y más importantes adaptaciones a la vida terrestre.
limbo: parte plana de una hoja.
línea Z: estructura proteica fibrosa a la que se sujetan los filamentos delgados del músculo esquelético; forma la frontera de un sarcómero.
linfa: fluido pálido contenido en el sistema linfático y constituido primordialmente de fluido intersticial y linfocitos.
linfocito: tipo de glóbulo blanco importante en la respuesta inmunológica.
lipasa: enzima que cataliza el desdoblamiento de lípidos.
lípido: una de varias moléculas orgánicas que contienen extensas regiones no polares compuestas exclusivamente de carbono e hidrógeno, las cuales hacen que los lípidos sean hidrofóbicos e insolubles en agua; incluyen aceites, grasas, ceras, fosfolípidos y esteroides.
liquen: asociación simbiótica entre una alga o cianobacteria y un hongo para formar un organismo compuesto.
líquido cerebroespinal: líquido transparente que se produce en el interior de los ventrículos encefálicos y los llena para proteger el encéfalo y la médula espinal.
líquido intersticial: líquido de composición similar a la del plasma, salvo que carece de proteínas grandes, que escapa de los capilares y actúa como medio de intercambio entre éstos y los cuerpos celulares.
lisosoma: organelo encerrado en una membrana que contiene enzimas digestivas intracelulares.
locus: ubicación física de un gen en un cromosoma.
macrófago: tipo de glóbulo blanco que fagocita a los microbios y los destruye; también presenta antígenos microbianos a las células T, lo que ayuda a estimular la respuesta inmunitaria.
macronutrimento: nutrimento que se requiere en cantidades relativamente grandes (constituye más del 0.1% del cuerpo del organismo).
magnetotáctico: capaz de detectar el campo magnético de la Tierra y responder a él.
maltosa: disacárido compuesto por dos moléculas de glucosa.
mamífero: miembro de la clase Mammalia de los cordados, que incluye a los vertebrados con pelo y glándulas mamarias.
mancha ocular: ojo simple, sin cristalino, que se encuentra en diversos invertebrados, como los gusanos planos y las medusas. Las manchas oculares permiten distinguir la luz de la oscuridad y a veces la dirección de la luz, pero no forman una imagen.
manto: extensión de la pared corporal en ciertos invertebrados, como los moluscos; puede secretar una concha, proteger las agallas y, en los cefalópodos, ayudar a la locomoción.
marcapasos: agrupación de células musculares especializadas en la aurícula derecha del corazón que producen señales eléctricas espontáneas a ritmo regular; el nodo sinoauricular.
marsupial: mamífero cuyas crías nacen en una etapa muy inmadura y continúan su desarrollo en una bolsa mientras permanecen sujetos a una glándula mamaria; incluye a los canguros, zarigüeyas y koalas.
masa de células internas: en el desarrollo embrionario de los humanos, el cúmulo de células en un lado del blastocisto que se desarrollará para formar el embrión.
mastocito: célula del sistema inmunitario que sintetiza histamina y otras moléculas que participan en la respuesta del cuerpo a un trauma y que son un factor en las reacciones alérgicas.
materia blanca: porción del cerebro y la médula espinal que consiste en buena parte de axones cubiertos por mielina y que confieren a estas áreas una coloración blanca.
materia gris: parte exterior del cerebro y región interior de la médula espinal; se compone principalmente de cuerpos celulares de neuronas, los cuales confieren a esta zona una coloración gris.
matriz: fluido contenido en la membrana interna de una mitocondria.
mecanismo aislador posterior al apareamiento: cualquier estructura, función fisiológica o anormalidad del desarrollo que impide que organismos de dos poblaciones diferentes, una vez efectuado el apareamiento, produzcan prole vigorosa y fértil.
mecanismo de aislamiento: diferencia morfológica, fisiológica, conductual o ecológica que impide la cruza de miembros de dos especies diferentes.
mecanismo de aislamiento previo al cruzamiento: cualquier estructura, función fisiológica o conducta que evita que organismos de dos poblaciones distintas intercambien gametos.
mecanorreceptor: receptor que responde a una deformación mecánica, como la causada por presión, tacto o vibración.
media luna gris: en el desarrollo embrionario de la rana, zona de pigmentación intermedia del óvulo fecundado; contiene sustancias reguladoras de los genes que son necesarias para el desarrollo normal del renacuajo.
médula: en las plantas terrestres, células que forman el centro de una raíz o tallo.
médula espinal: parte del sistema nervioso central de los vertebrados que se extiende desde la base del cerebro hasta las caderas y está protegida por los huesos de la columna vertebral; contiene los cuerpos celulares de neuronas motrices que forman sinapsis con músculos esqueléticos, los circuitos de algunas conductas reflejas simples y axones que se comunican con el cerebro.
médula renal: la capa del riñón inmediatamente por debajo de la corteza renal, donde las asas de Henle producen un fluido intersticial altamente concentrado, importante en la producción de orina concentrada.
médula suprarrenal: parte interna de la glándula suprarrenal; secreta adrenalina (epinefrina) y noradrenalina (norepinefrina).
medusa: etapa del ciclo de vida de muchos cnidarios, como las aguamalas, que tienen forma de campana y por lo regular nadan libremente.
megacariocito: célula grande que permanece en la médula ósea y estrangula fragmentos de sí misma que luego entran en la circulación en forma de plaquetas.
megaspora: célula haploide formada por meiosis a partir de una célula madre de megasporas diploide; por mitosis y diferenciación, se convierte en el gametofito femenino.
meiosis: tipo de división celular empleada por los organismos eucarióticos, en la que una célula diploide se divide dos veces para producir cuatro células haploides.
melatonina: hormona secretada por la glándula pineal que participa en la regulación de los ciclos circadianos.
membrana: en los organismos multicelulares, una lámina continua de células epiteliales que cubre al cuerpo y reviste las cavidades corporales; en una célula, delgada lámina de lípidos y proteínas que rodea a la célula o a sus organelos y los separa de su entorno.
membrana basilar: membrana de la cóclea con células pilosas que responden a las vibraciones producidas por el sonido.
membrana extraembrionaria: en el desarrollo embrionario de reptiles, aves y mamíferos, el corion, amnios, alantoides o saco vitelino; participan en el intercambio de gases, el suministro del ambiente acuoso necesario para el desarrollo, el almacenamiento de desechos y el almacenamiento del vitelo, respectivamente.
membrana mucosa: revestimiento interior de los tractos respiratorio y digestivo.
membrana plasmática: membrana exterior de la célula, compuesta por una bicapa de fosfolípidos con proteínas incrustadas.
membrana pleural: membrana que reviste la cavidad torácica y rodea a los pulmones.
membrana tectorial: una de las membranas de la cóclea, en la que están incrustados los cilios de las células ciliadas. Durante la recepción de sonidos, el movimiento de la membrana basilar en relación con la membrana tectorial dobla los cilios.
membrana timpánica: el tímpano; membrana tensa que cubre la abertura del oído y transmite las vibraciones del sonido a los huesecillos del oído medio.
memoria a largo plazo: la segunda fase del aprendizaje; una memoria que almacena recuerdos más o menos permanentes que se forman por un cambio estructural en el cerebro, debido a la repetición.
memoria de trabajo: la primera fase del aprendizaje; memoria a corto plazo de naturaleza eléctrica o bioquímica.
meninges: tres capas de tejido conectivo que rodean al cerebro y la médula espinal.
menstruación: en las mujeres, la descarga mensual de tejido y sangre del útero.
meristemo apical: conjunto de células meristemáticas del extremo de un vástago o una raíz (o de una de sus ramas).
meristemo lateral: tejido meristemático que forma cilindros paralelos al eje longitudinal de raíces y tallos; normalmente está situado entre el xilema y el floema primarios *(*cambium vascular) y justo afuera del floema *(*cambium suberígeno); también se llama *cambium.*
mesodermo: capa media de tejido embrionario, entre el endodermo y el ectodermo, que generalmente es la última en desarrollarse; da origen a estructuras como músculos y huesos.
mesófilo: células de parénquima poco apretadas que están bajo la epidermis de las hojas.
mesoglea: capa intermedia gelatinosa dentro de la pared corporal de los cnidarios.
metabolismo: el total de las reacciones químicas que se efectúan dentro de una célula o dentro de todas las células de un organismo multicelular.
metafase: etapa de la mitosis en la que los cromosomas, unidos a las fibras del huso en los cinetocoros, se acomodan sobre el ecuador de la célula.
metamorfosis: en animales con desarrollo indirecto, cambio radical en la forma del cuerpo, desde la forma de larva a la de un adulto sexualmente maduro; se observa en anfibios (renacuajo a rana) y en insectos (oruga a mariposa).

metanógeno: tipo de arqueo anaeróbico que puede convertir el dióxido de carbono en metano.
método científico: procedimiento riguroso para hacer observaciones de fenómenos específicos y buscar el orden subyacente de tales fenómenos.
método del cuadro de Punnett: forma intuitiva de predecir los genotipos y fenotipos de la progenie en cruzas específicas.
método del ritmo: método anticonceptivo que implica abstenerse de practicar el coito durante la ovulación.
micelio: el cuerpo de un hongo, que consiste en una masa de hifas.
micorriza: relación simbiótica entre un hongo y las raíces de una planta terrestre, que facilita la extracción y absorción de minerales.
microbio: un microorganismo.
microevolución: cambio a lo largo de generaciones sucesivas en la composición de la poza génica de una población.
microfilamento: parte del citoesqueleto de las células eucarióticas que se compone de las proteínas actina y (en algunos casos) miosina; funciona en el movimiento de los organelos celulares y en la locomoción por extensión de la membrana plasmática.
micronutrimento: nutrimento que sólo se requiere en pequeñas cantidades (constituye menos del 0.01 % del cuerpo del organismo).
microsfera: pequeña esfera hueca hecha de proteínas, o bien, de proteínas que forman un complejo con otros compuestos.
microspora: célula haploide formada por meiosis a partir de una célula madre de microsporas; por mitosis y diferenciación, se convierte en el gametofito masculino.
microtúbulo: cadena cilíndrica gruesa que se encuentra en las células eucarióticas y está compuesta de la proteína tubulina; es la parte del citoesqueleto que se usa en el movimiento de los organelos, el crecimiento celular y la construcción de cilios y flagelos.
microtúbulos del huso: microtúbulos organizados en una forma ahusada que separan los cromosomas durante la mitosis o la meiosis.
microvellosidad: proyección microscópica de la membrana plasmática de cada vellosidad; aumenta el área superficial de la vellosidad.
mielina: envoltura de membranas aislantes de células especializadas no nerviosas en torno al axón de una célula nerviosa de un vertebrado; aumenta la velocidad de conducción de los potenciales de acción.
mimetismo: situación en la que una especie ha evolucionado para parecerse a algo más, por lo regular otro tipo de organismo.
mimetismo agresivo: evolución de un organismo depredador por la que se asemeja a un animal inofensivo o a una parte del entorno, lo que facilita su acceso a una presa.
mineral: sustancia inorgánica, especialmente las contenidas en rocas o suelos.
miofibrilla: subunidad cilíndrica de una célula muscular; consiste en una serie de sarcómeros rodeados por retículo sarcoplásmico.
miometrio: capa externa muscular del útero.
miopía: incapacidad para enfocar objetos distantes porque el globo ocular es demasiado largo o la córnea es muy curva.
miosina: una de las principales proteínas de los músculos, cuya interacción con la proteína actina produce la contracción muscular; está presente en los filamentos gruesos de la fibra muscular; véase también *actina.*
mitocondria: organelo delimitado por dos membranas, en el cual se efectúan las reacciones del metabolismo aeróbico.
mitosis: tipo de división nuclear, empleado por las células eucarióticas, en el que una copia de cada cromosoma (ya duplicado durante la interfase antes de la mitosis) pasa a cada uno de los dos núcleos hijos; éstos son, por tanto, genéticamente idénticos.
modelo del mosaico fluido: modelo de estructura de la membrana; según este modelo, las membranas se componen de una doble capa de fosfolípidos con diversas proteínas incrustadas en ella. La bicapa fosfolipídica es una matriz relativamente fluida que permite el movimiento de proteínas en su interior.
moho de agua: protista semejante a los hongos que incluye algunos patógenos, como el mildiu aterciopelado que ataca a las uvas.
moho deslizante acelular: tipo de protista semejante a un hongo, que forma una estructura multinucleada que se arrastra como una amiba e ingiere materia orgánica en descomposición; también se conoce como *moho viscoso plasmodial.*
moho deslizante celular: protista semejante a un hongo que se compone de células amiboides individuales capaces de aglutinarse para formar una masa viscosa que, a la vez, forma un cuerpo fructífero.
moho viscoso plasmodial: véase *moho deslizante acelular.*
molécula: partícula compuesta de uno o más átomos que se mantiene unida por enlaces químicos; la partícula más pequeña de un compuesto que exhibe todas las propiedades de éste.
molécula portadora de energía: molécula que almacena energía en enlaces químicos "de alta energía" y la libera para llevar a cabo reacciones endotérmicas acopladas. En las células, el ATP es el portador de energía más común.
molleja: órgano muscular, presente en las lombrices de tierra y en las aves, en el que se desintegra mecánicamente el alimento antes de la digestión química.
monocotiledónea: tipo de planta con flores caracterizada por embriones con una sola hoja seminal o cotiledón.
monofilético: dícese de un grupo de especies que contiene todos los descendientes conocidos de una especie ancestral.
monoicos: organismos en los que el mismo individuo produce los gametos masculinos y femeninos.
monómero: molécula orgánica pequeña, varias de las cuales pueden unirse para formar una cadena llamada *polímero.*
monosacárido: unidad molecular básica de todos los carbohidratos; generalmente se compone de una cadena de átomos de carbono unidos a grupos hidrógeno e hidroxilo.
monotrema: mamífero que pone huevos; por ejemplo, el ornitorrinco.
mórula: en los animales, etapa embrionaria durante la segmentación, cuando el embrión consiste en una esfera sólida de células.
movimiento por segmentación: contracción del intestino delgado que mezcla alimentos parcialmente digeridos y enzimas digestivas; también pone a los nutrimentos en contacto con la pared intestinal absorbente.
mudar: desechar una cobertura externa del cuerpo, como un exoesqueleto, piel, plumas o pelaje.
muestreo de las vellosidades coriónicas (MVC): procedimiento para tomar muestras de células de las vellosidades coriónicas que produce el feto: se inserta un tubo en el útero de una mujer embarazada y se extrae por succión una pequeña muestra de las vellosidades, a la cual se le practican análisis genéticos y bioquímicos.
multicelular: compuesto por muchas células; casi todos los miembros de los reinos Fungi, Plantae y Animalia son multicelulares, con una cooperación íntima entre las células.
músculo cardiaco: músculo especializado del corazón, capaz de iniciar su propia contracción con independencia del sistema nervioso.
músculo esquelético: el tipo de músculo que se sujeta al esqueleto y lo mueve, y está bajo el control directo, normalmente voluntario, del sistema nervioso; también se denomina *músculo estriado.*
músculo estriado: véase *músculo esquelético.*
músculo liso: tipo de músculo que rodea a órganos huecos, como el tracto digestivo, la vesícula y los vasos sanguíneos; por lo general no se controla voluntariamente.
músculos antagonistas: par de músculos, uno de los cuales se contrae y al hacerlo extiende el otro; disposición que hace posible el movimiento del esqueleto en las articulaciones.
mutación: cambio en la secuencia de bases del DNA de un gen; generalmente se refiere a un cambio genético lo bastante importante como para alterar el aspecto o la función del organismo.
mutación neutral: mutación que tiene poco o ningún efecto sobre la función de la proteína codificada.
mutación por deleción: mutación en la que se elimina uno o más pares de nucleótidos de un gen.
mutación por inserción: mutación en la que se inserta un par de nucleótidos o más en un gen.
mutación puntual: mutación en la que sólo se ha modificado un par de bases en el DNA.
mutualismo: relación simbiótica en la que ambas especies participantes se benefician.
nefridio: órgano excretor que se encuentra en las lombrices de tierra, moluscos y otros invertebrados; se asemeja a una sola nefrona de vertebrado.
nefridioporo: abertura hacia el exterior del riñón simple (nefridio) de las lombrices de tierra.
nefrona: unidad funcional del riñón donde se filtra la sangre y se forma la orina.
nefrostoma: abertura con forma de embudo del nefridio de algunos invertebrados como las lombrices de tierra; el fluido del celoma se introduce en el nefrostoma para ser filtrado.
nervio: haz de axones de células nerviosas, envueltos por una vaina.
nervio auditivo: nervio que va de la cóclea al cerebro de los mamíferos; transmite información sonora.
nervio óptico: el nervio que va del ojo al cerebro y lleva información visual.
nervio periférico: nervio que conecta el cerebro y la médula espinal con el resto del cuerpo.
neurona: célula nerviosa individual.
neurona de asociación: en las redes neuronales, neurona que es postsináptica a una neurona sensorial y presináptica a una neurona motriz. En los circuitos puede haber muchas neuronas de asociación entre neuronas sensoriales y motrices individuales.
neurona motriz: neurona que recibe instrucciones de las neuronas de asociación y activa órganos efectores, como los músculos o las glándulas.

neurona postsináptica: en una sinapsis, la célula nerviosa que cambia su potencial eléctrico en respuesta a una sustancia (el neurotransmisor) liberada por otra célula (presináptica).
neurona presináptica: célula nerviosa que libera una sustancia (el neurotransmisor) en una sinapsis y causa cambios en la actividad eléctrica de otra célula (postsináptica).
neurona sensorial: célula nerviosa que responde a un estímulo del entorno interior o exterior.
neuropéptido: pequeña molécula proteica que actúa como neurotransmisor.
neurotransmisor: sustancia liberada por una célula nerviosa cerca de una segunda célula nerviosa, una célula muscular o una célula glandular y que influye en la actividad de la segunda célula.
neutralización: proceso de cubrir o inactivar una sustancia tóxica con un anticuerpo.
neutrófilo: tipo de glóbulo blanco que fagocita a los microbios invasores y contribuye a las defensas no específicas del cuerpo contra la enfermedad.
neutrón: partícula subatómica que se encuentra en el núcleo de los átomos; no lleva carga y tiene una masa aproximadamente igual a la del protón.
nicho ecológico: papel que desempeña una especie determinada en un ecosistema; incluye todos los aspectos de su interacción con los entornos animado e inanimado.
nivel energético: cantidad específica de energía que es característica de una capa electrónica dada de un átomo.
nivel trófico: literalmente, "nivel de alimentación"; las categorías de organismos de una comunidad y la posición de un organismo en una cadena alimentaria, definida por su fuente de energía; incluye productores, consumidores primarios, consumidores secundarios, etcétera.
no disyunción: error de la meiosis por el que los cromosomas no se segregan correctamente a las células hijas.
nodo: en los vertebrados, una interrupción de la mielina en un axón mielinizado, que deja al descubierto la membrana donde se generan potenciales de acción.
nodo auriculoventricular (AV): masa muscular especializada de la base de la aurícula derecha, a través de la cual se transmite a los ventrículos la actividad eléctrica que se inicia en el nodo sinoauricular.
nodo sinoauricular (SA): masa pequeña de músculo especializado de la pared de la aurícula derecha; genera señales eléctricas de forma rítmica y espontánea y actúa como marcapasos del corazón.
nódulo: engrosamiento en la raíz de una leguminosa u otra planta que consiste en células de corteza y en el que habitan bacterias fijadoras de nitrógeno.
nombre científico: nombre de un organismo formado a partir de las dos categorías taxonómicas principales más limitadas: el género y la especie.
noradrenalina: neurotransmisor liberado por neuronas del sistema nervioso parasimpático, que prepara al cuerpo para responder a situaciones de tensión; también se llama *norepinefrina.*
notocordio: estructura axial poco flexible, de soporte, que aparece en todos los miembros del filum Chordata en alguna etapa de su desarrollo.
núcleo atómico: región central de un átomo, compuesta de protones y neutrones.
núcleo celular: organelo encerrado por membranas en las células eucarióticas que contiene el material genético de la célula.
núcleo polar: en las plantas con flores, uno de dos núcleos de la célula de endospermo primario del gametofito femenino; se forma por la división mitótica de una megaspora.
nucleoide: lugar donde se encuentra el material genético en las células procarióticas; no está encerrado por membranas.
nucleolo: región del núcleo eucariótico en la que se sintetizan ribosomas; consiste en los genes que codifican el RNA ribosomal recién sintetizado y proteínas ribosómicas.
nucleótido: subunidad de que están compuestos los ácidos nucleicos; un grupo fosfato unido a un azúcar (desoxirribosa en el DNA), el cual a su vez está unido a una base nitrogenada (adenina, guanina, citosina o timina en el DNA). Los nucleótidos se unen para formar una cadena de ácido nucleico: el grupo fosfato de un nucleótido forma un enlace con el azúcar del siguiente nucleótido.
nucleótido cíclico: nucleótido en el que el grupo fosfato está ligado al azúcar en dos puntos y forma un anillo; sirve como mensajero intracelular.
nucleótidos libres: nucleótidos que no se han unido para formar una cadena de DNA o RNA.
nudo: en las plantas, región de un tallo en la que se encuentran hojas y yemas laterales.
número atómico: número de protones del núcleo de un átomo de un elemento específico.
nutrición: proceso de adquirir nutrimentos del ambiente y, si es necesario, pasarlos a una forma que el cuerpo pueda utilizar.
nutrimento: sustancia adquirida del ambiente, necesaria para la supervivencia, el crecimiento y el desarrollo de un organismo.
observación: en el método científico, el hecho de tomar nota de un fenómeno específico, lo cual lleva a formular una hipótesis.
oído externo: en los mamíferos, las partes del oído que están antes de llegar al tímpano; consta del pabellón auricular y el canal auditivo.
oído interno: parte más interna del oído de los mamíferos; se compone de los tubos óseos llenos de líquido de la cóclea y del aparato vestibular.
oído medio: parte del oído de los mamíferos integrada por la membrana timpánica, la trompa de Eustaquio y tres huesecillos (martillo, yunque y estribo) que transmiten vibraciones del canal auditivo a la ventana oval.
ojo compuesto: tipo de ojo, presente en los artrópodos, que se compone de numerosas subunidades llamadas *omatidios.* Al parecer, cada omatidio aporta un fragmento de la imagen semejante a un mosaico que el animal percibe.
olfato: sentido que permite a los animales responder a sustancias odoríferas presentes en el aire en su ambiente externo.
omatidio: subunidad sensible a la luz de un ojo compuesto; consta de una lente y varias células receptoras.
omnívoro: organismo que consume tanto plantas como otros animales.
opérculo: cubierta externa, con soporte óseo, que cubre y protege las agallas de la mayoría de los peces.
opioide: uno de un grupo de neuromoduladores peptídicos del cerebro de los vertebrados que imita algunas de las acciones de los opiáceos (como el opio) y al parecer también influye en muchos otros procesos como las emociones y el apetito.
orden: categoría taxonómica contenida en una clase y que consta de familias emparentadas.
organelo: estructura que se encuentra en el citoplasma de las células eucarióticas y desempeña una función específica; a veces se refiere específicamente a estructuras delimitadas por membranas, como el núcleo y el retículo endoplásmico.
orgánico/molécula orgánica: describe una molécula que contiene tanto carbono como hidrógeno.
organismo: ser vivo individual.
órgano: estructura (como el hígado, el riñón o la piel) compuesta por dos o más tipos de tejidos distintos que funcionan juntos.
organogénesis: proceso por el cual las capas de la gástrula (endodermo, ectodermo, mesodermo) se reacomodan para formar órganos.
origen: sitio de sujeción de un músculo al hueso relativamente estacionario de un lado de una articulación.
orina: fluido producido y excretado por el sistema urinario de los vertebrados; contiene agua y desechos disueltos, como urea.
ósmosis: difusión de agua a través de una membrana con permeabilidad diferencial, normalmente descendiendo por un gradiente de concentración de moléculas de agua libre. El agua entra en la solución que tiene menor concentración de agua libre, desde una solución que tiene más alta concentración de agua libre.
osteoblasto: tipo de célula que produce hueso.
osteocito: célula ósea madura.
osteoclasto: tipo de célula que disuelve hueso.
osteón: unidad de hueso duro consistente en capas concéntricas de matriz ósea, con osteocitos incrustados, que rodea a un canal central pequeño el cual contiene a un capilar.
osteoporosis: condición en la que los huesos se vuelven porosos, débiles y quebradizos; es más común en mujeres de edad avanzada.
ovario: en los animales, la gónada de las hembras; en las plantas con flores, estructura en la base del carpelo que contiene uno o más óvulos y al desarrollarse forma el fruto.
oviducto: en los mamíferos, el tubo que va del ovario al útero.
ovocito primario: célula diploide, derivada del ovogonio por crecimiento y diferenciación, que sufre meiosis para producir el óvulo.
ovocito secundario: célula haploide grande derivada de la primera división meiótica del ovocito primario diploide.
ovogénesis: proceso por el cual se forman los óvulos.
ovogonio: en animales hembra, célula diploide que da origen a un ovocito primario.
ovulación: proceso por el que el ovario libera un ovocito secundario, listo para fertilizarse.
óvulo: 1 gameto haploide femenino, normalmente grande e inmóvil, que contiene reservas de alimento para el embrión en desarrollo; **2** estructura dentro del ovario de una flor, dentro de la cual se desarrolla el gametofito femenino; después de la fertilización se convierte en la semilla.
oxitocina: hormona liberada por la hipófisis posterior que estimula la contracción de los músculos del útero y las glándulas mamarias.
páncreas: glándula mixta, exocrina y endocrina, situada en la cavidad abdominal junto al estómago. La porción endocrina secreta las hormonas insulina y glucagón, que regulan las concentraciones de glucosa en la sangre. La porción exocrina secreta al intestino delgado

enzimas para digerir lípidos, carbohidratos y proteínas y neutralizar el quimo.
papila gustativa: cúmulo de células receptoras del gusto y células de apoyo situado en un pequeño foso bajo la superficie de la lengua; se comunica con la boca a través de un pequeño poro. La lengua humana tiene aproximadamente 10,000 papilas gustativas.
par de bases complementarias: en los ácidos nucleicos, bases que se aparean mediante puentes de hidrógeno. En el DNA, la adenina es complementaria de la timina y la guanina de la citosina; en el RNA, la adenina es complementaria del uracilo y la guanina de la citosina.
parasitismo: relación simbiótica en la que un organismo (por lo regular más pequeño y numeroso que su huésped) se beneficia al alimentarse del otro, el cual generalmente sufre daños, aunque no muere de inmediato.
parásito: organismo que vive dentro de un organismo mayor (o sobre él) llamado *huésped*, al cual debilita.
paratohormona: hormona secretada por la glándula paratiroides, que estimula la liberación de calcio de los huesos.
paratiroides: cada una de las cuatro pequeñas glándulas endocrinas, localizadas en la superficie de la glándula tiroides, que produce paratohormona, la cual (junto con la calcitonina de la glándula tiroides) regula la concentración de ion calcio en la sangre.
pared celular: capa de celulosa o de materiales similares a la celulosa, que está fuera de la membrana plasmática de plantas, hongos, bacterias y algunos protistas.
pared celular primaria: celulosa y otros carbohidratos secretados por una célula vegetal joven entre la lámina media y la membrana plasmática.
pared celular secundaria: gruesa capa de celulosa y otros polisacáridos secretada por ciertas células vegetales entre la pared celular primaria y la membrana plasmática.
parénquima: tipo de célula vegetal que está viva en su madurez; generalmente, tiene paredes celulares primarias delgadas y efectúa la mayor parte del metabolismo de la planta. Casi todas las células del meristemo de una planta que sufren división son parénquima.
partenogénesis: especialización de la reproducción sexual en la que un óvulo haploide se desarrolla sin fecundación.
partición de recursos: coexistencia de dos especies con necesidades similares, cada una de las cuales ocupa un nicho más pequeño que el que ocuparía si estuviera sola; forma de reducir al mínimo sus interacciones competitivas.
partícula subatómica: partículas que componen los átomos: electrones, protones y neutrones.
parto: serie de contracciones del útero que dan como resultado un nacimiento.
patógeno: organismo (o toxina) capaz de producir una enfermedad.
pecíolo: rabillo que conecta una hoja al tallo.
pelágico: que nada o flota libremente.
pelo radicular: proyección fina de una célula epidérmica de una raíz joven que incrementa su área superficial de absorción.
pelvis renal: cámara interna del riñón donde se acumula la orina de los conductos colectores antes de entrar en los uréteres.
pene: estructura externa de los sistemas reproductor y urinario masculinos; sirve para depositar espermatozoides en el sistema reproductor femenino y conduce orina al exterior.
péptido: cadena formada por dos o más aminoácidos unidos por enlaces peptídicos.
péptido inhibidor gástrico: hormona que produce el intestino delgado; inhibe la actividad del estómago.
péptido natriurético atrial: hormona que secretan las células del corazón de los mamíferos; reduce el volumen sanguíneo al inhibir la liberación de ADH y aldosterona.
peptidoglicano: componente de las paredes de células procarióticas que consiste en cadenas de azúcares unidas transversalmente por cadenas cortas de aminoácidos llamadas péptidos.
perfil de DNA: el patrón de repeticiones cortas en tandem de segmentos específicos de DNA; utilizando 13 repeticiones cortas en tandem, el perfil de DNA de una persona difiere con respecto al de cualquier otro individuo sobre la Tierra.
pericíclo: la capa más exterior de las células del cilindro vascular de una raíz.
peridermo: capas celulares exteriores de las raíces y tallos que han experimentado un crecimiento secundario y constan primordialmente de cambium suberígeno y células suberosas.
periodo sensible: etapa específica de la vida de un animal durante la cual tiene lugar la impronta.
peristaltismo: contracciones coordinadas rítmicas de los músculos lisos del tracto digestivo, que desplazan sustancias a través de éste.
***permafrost*:** capa de suelo permanentemente congelada en la tundra ártica, donde no pueden crecer árboles.
permeabilidad diferencial: capacidad de ciertas sustancias para atravesar una membrana con más facilidad que otras.
perturbación: cualquier acontecimiento que perturba el ecosistema alterando su comunidad, su estructura abiótica o ambas; la perturbación precede a la sucesión.
pétalo: parte de la flor, por lo regular de colores brillantes y con fragancia, que atrae a posibles polinizadores animales.
pez de aletas lobulares: miembro del orden Sarcopterygii de los peces, que incluye a los celacantos y los peces pulmonados. Los ancestros de los actuales peces de aletas lobulares dieron origen a los primeros anfibios y, en última instancia, a los vertebrados tetrápodos.
filum (o *phylum*): categoría taxonómica de animales y protistas similares a animales contenida dentro de un reino y consta de clases relacionadas.
pie ambulacral: extensión cilíndrica del sistema hidrovascular de los equinodermos; sirve para locomoción, sujeción de alimentos y respiración.
piel: tejido que constituye la superficie externa del cuerpo de un animal.
píldora para el control de la natalidad: método anticonceptivo temporal que impide la ovulación mediante el suministro continuo de estrógeno y progesterona, lo que inhibe la liberación de LH; debe tomarse diariamente, por lo regular, durante 21 días de cada ciclo menstrual.
pilus (plural, *pili):* proyección delgada hecha de proteínas y situada en la superficie de ciertas bacterias; por lo regular sirve para unir a la bacteria con otra célula.
pinocitosis: movimiento no selectivo del fluido extracelular que queda encerrado en una vesícula formada a partir de la membrana plasmática y se transfiere al interior de la célula.
pionero: organismo que es de los primeros en colonizar un hábitat desocupado durante las primeras etapas de la sucesión.
pirámide de energía: representación gráfica de la energía contenida en niveles tróficos sucesivos, donde la energía máxima está en la base (productores primarios) y los niveles más altos corresponden a cantidades progresivamente menores.
pirógeno endógeno: sustancia química, producida por el organismo, que estimula la producción de fiebre.
piruvato: molécula de tres carbonos que se forma en la glucólisis y luego se utiliza en la fermentación o la respiración celular
placa: depósito de colesterol y otras sustancias grasas en la pared de una arteria.
placa celular: en la división de células vegetales, la serie de vesículas que se fusionan para formar las nuevas membranas plasmáticas y la pared celular que separa las células hijas.
placa cribosa: en las plantas, estructura entre dos elementos adyacentes del tubo criboso en el floema, donde agujeros formados en las paredes celulares primarias interconectan el citoplasma de los elementos; en los equinodermos, la abertura a través de la cual ingresa agua en el sistema hidrovascular.
placenta: en los mamíferos, estructura formada por una interposición compleja del revestimiento uterino y las membranas embrionarias, especialmente el corion; participa en el intercambio de gases, nutrimentos y desechos entre los sistemas circulatorios embrionario y materno y secreta hormonas.
placentario: dícese de un mamífero que tiene placenta (es decir, una especie que no es marsupial ni monotrema).
plancton: organismos microscópicos que viven en entornos marinos o de agua dulce: comprende el fitoplancton y el zooplancton.
planta de día corto: planta que florece sólo si la luz solar dura menos que el periodo específico para la especie.
planta de día largo: planta que florece sólo si la luz de día tiene una duración mayor que el periodo específico para la especie.
planta de hoja perenne: planta que conserva hojas verdes durante todo el año.
planta de noche corta: planta que florece sólo si la duración de la oscuridad es menor que el periodo específico para la especie (también se conoce como *planta de día largo*).
planta de noche larga: planta que florece sólo si la duración de la oscuridad ininterrumpida es mayor que el periodo específico para la especie (también se conoce como *planta de día corto*).
planta neutral al día: planta que florece tan pronto como ha crecido y se ha desarrollado, sin que influya en ello la duración del día.
plaqueta: fragmento celular que se forma a partir de megacariocitos en la médula ósea y carece de núcleo; circula en la sangre y participa en su coagulación.
plasma: la porción fluida, no celular, de la sangre.
plásmido: pequeño fragmento circular de DNA situado en el citoplasma de muchas bacterias; normalmente no lleva genes necesarios para el funcionamiento adecuado de la bacteria, pero podría llevar genes que ayudan a la bacteria a sobrevivir en ciertos ambientes, como un gen para la resistencia a los antibióticos.
plasmodesma: puente de célula a célula en las plantas, que conecta el citoplasma de células adyacentes.

plasmodio: masa de citoplasma que semeja una babosa y contiene miles de núcleos que no están confinados dentro de células individuales.
plástidos: en las células vegetales, organelo delimitado por dos membranas que podría participar en la fotosíntesis (cloroplastos) o en el almacenamiento de pigmentos o alimentos.
pleiotropía: situación en la que un solo gen influye en más de una característica fenotípica.
población: todos los miembros de una especie dada dentro de un ecosistema, que se encuentran en el mismo tiempo y lugar y que pueden cruzarse real o potencialmente.
población de equilibrio: población en la que las frecuencias de los alelos y la distribución de los genotipos no cambian de una generación a la siguiente.
población mínima viable (PMV): población aislada más pequeña que puede subsistir indefinidamente y sobrevivir a acontecimientos naturales como incendios e inundaciones.
polen/grano de polen: gametofito masculino de una planta con semillas.
polímero: molécula compuesta de tres o más subunidades (quizá miles) más pequeñas llamadas *monómeros*, que pueden ser idénticas (como los monómeros de glucosa del almidón) o diferentes (como los aminoácidos de una proteína).
polimorfismo de la longitud del fragmento de restricción (RFLP): diferencia en la longitud de los fragmentos de restricción que se producen cortando muestras de DNA de diferentes individuos de la misma especie con el mismo conjunto de enzimas de restricción; es resultado de diferencias en las secuencias de nucleótidos entre individuos de la misma especie.
polimorfismo equilibrado: conservación prolongada de dos o más alelos en una población, normalmente porque cada alelo se ve favorecido por una presión ambiental diferente.
polinización: en las plantas con flores, cuando los granos de polen caen en el estigma de una flor de la misma especie; en las coníferas, cuando granos de polen caen en la cámara de polen de un cono femenino de la misma especie.
polipéptido: polímero corto de aminoácidos; a menudo se usa como sinónimo de proteína.
poliploide: que tiene más de dos cromosomas homólogos de cada tipo.
pólipo: etapa sedentaria, con forma de jarrón, del ciclo de vida de muchos cnidarios; incluye la hidra y las anémonas de mar.
polisacárido: molécula grande de carbohidrato compuesta de cadenas (ramificadas o no) de subunidades de monosacárido repetidas, que generalmente son moléculas de glucosa o glucosa modificada; incluye almidones, celulosa y glucógeno.
porción conductora: parte del sistema respiratorio de los vertebrados de respiración pulmonar que lleva aire a los pulmones.
porción de intercambio de gases: parte del sistema respiratorio de los vertebrados de respiración pulmonar donde se intercambian gases en los alveolos de los pulmones.
poro excretor: abertura de la pared corporal de ciertos invertebrados, como la lombriz de tierra, por donde se excreta la orina.
portador: individuo que es heterocigótico respecto a una condición recesiva; manifiesta el fenotipo dominante, pero puede transmitir el alelo recesivo a sus descendientes.
portador de electrones: molécula capaz de ganar o perder electrones de forma reversible. En general, los portadores de electrones aceptan electrones de alta energía producidos durante una reacción exergónica y los donan a moléculas receptoras que utilizan la energía para llevar a cabo reacciones endergónicas.
posterior: el extremo trasero o de cola de un animal.
potencial biótico: tasa máxima a la que una población podría crecer suponiendo condiciones ideales que hacen posible una tasa de natalidad máxima y una tasa de mortalidad mínima.
potencial de acción: cambio rápido de un potencial eléctrico negativo a uno positivo en una neurona. Esta señal viaja por el axón sin que cambie su intensidad.
potencial de receptor: cambio de potencial eléctrico en una célula receptora que se produce en respuesta a la recepción de un estímulo ambiental (sustancias químicas, sonido, luz, calor, etcétera). La magnitud del potencial de receptor es proporcional a la intensidad del estímulo.
potencial de reposo: potencial eléctrico negativo en células nerviosas no estimuladas.
potencial postsináptico (PPS): señal eléctrica que se produce en una célula postsináptica por transmisión a través de la sinapsis; podría ser de excitación (PPSE), con lo que aumenta la probabilidad de que la célula produzca un potencial de acción, o de inhibición (PPSI), que tiende a inhibir un potencial de acción.
poza génica *(gene pool)*: total de los alelos de todos los genes de una población; en el caso de un gen individual, el total de los alelos de ese gen que se presentan en una población.
pradera: bioma situado en los centros de los continentes, caracterizado por la presencia de pastos; también se llama *pastizal.*
pastizal: bioma que se encuentra en el centro de los continentes y donde crecen pastos; también se llama *pradera.*
preadaptación: característica que evolucionó dentro de un conjunto de condiciones ambientales y que, de manera fortuita, ayuda a un organismo a adaptarse a nuevas condiciones ambientales.
presa: organismos que son matados y comidos por otro organismo.
presión de turgencia: presión que se produce dentro de una célula (especialmente en la vacuola central de las células vegetales) como resultado del ingreso osmótico de agua.
presión osmótica: presión necesaria para contrarrestar la tendencia del agua a pasar de una solución con mayor concentración de moléculas de agua libre a una solución con menor concentración de agua libre.
primate: mamífero que se caracteriza por la presencia de un pulgar oponible, ojos que miran hacia delante y una corteza cerebral bien desarrollada; comprende los lémures, monos, simios y seres humanos.
primera ley de la termodinámica: principio físico que establece que, dentro de todo sistema aislado, la energía no se crea ni se destruye, sino sólo se transforma.
primordio foliar: cúmulo de células meristemáticas situadas en el nudo de un tallo, que al desarrollarse produce una hoja.
principio de exclusión competitiva: concepto de que dos especies cualesquiera no pueden ocupar de forma simultánea y continua el mismo nicho ecológico.
principio de Hardy-Weinberg: modelo matemático que propone que, en ciertas condiciones, las frecuencias de los alelos y las frecuencias de los genotipos de una población que se reproduce sexualmente permanecen constantes al paso de las generaciones.
prión: proteína que, en forma mutada, actúa como agente infeccioso causante de ciertas enfermedades neurodegenerativas, como el kuru y la tembladera (*scrapie*).
procariota: organismo cuyas células son procarióticas; las bacterias y las arqueas son procariotas.
procariótico: dícese de las células de los dominios Bacteria o Archaea. Las células procarióticas no tienen su material genético encerrado en un núcleo delimitado por membranas; tampoco tienen otros organelos encerrados en membranas.
prosencéfalo (cerebro): parte del encéfalo que se encarga del procesamiento sensorial, la dirección de las señales motrices y la coordinación de la mayoría de las actividades corporales; se compone de dos mitades casi simétricas (los hemisferios) enlazadas por una banda ancha de axones conocida como cuerpo calloso.
productividad primaria neta: la energía que se almacena en los autótrofos de un ecosistema durante un periodo dado.
producto: átomo o molécula que se forma a partir de reactivos en una reacción química.
productor: organismo fotosintético; un autótrofo.
profase: primera etapa de la mitosis, en la que los cromosomas comienzan a hacerse visibles al microscopio óptico como hebras engrosadas y condensadas, y se empieza a formar el huso; conforme se completa el huso, la envoltura nuclear se desintegra y las fibras del huso invaden la región nuclear y se unen a los cinetocoros de los cromosomas. También se llama así a la primera etapa de la meiosis: en la meiosis I, los cromosomas homólogos se aparean e intercambian partes en los quiasmas; en la meiosis II, el huso vuelve a formarse y los cromosomas se unen a los microtúbulos.
progesterona: hormona producida por el cuerpo lúteo; promueve el desarrollo del revestimiento uterino en las hembras.
prolactina: hormona secretada por la hipófisis anterior que estimula la producción de leche en la mujer.
promotor: secuencia específica de DNA a la que se une la RNA polimerasa para iniciar la transcripción de genes.
propiedad emergente: atributo intangible que surge como resultado de complejas interacciones ordenadas entre partes individuales.
prosencéfalo: durante el desarrollo, parte anterior del encéfalo. En los mamíferos, el prosencéfalo se diferencia para dar origen al tálamo, el sistema límbico y el cerebro. En los seres humanos, el cerebro contiene alrededor de la mitad de las neuronas del encéfalo.
prostaglandina: familia de hormonas de ácido graso modificado, fabricadas por muchas células del cuerpo.
próstata: glándula que produce parte del fluido componente del semen; el fluido prostático es alcalino y contiene una sustancia que activa el movimiento de los espermatozoides.
proteasa: enzima que digiere proteínas.
proteína: polímero de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos.
proteína de canal: proteína de la membrana que forma un canal o poro que atraviesa totalmente la membrana y que por lo general es permeable a una o a unas pocas moléculas solubles en agua, especialmente iones.
proteína de reconocimiento: proteína o glucoproteína que sobresale de la superficie externa de una membrana plasmática e identifica a la

célula como perteneciente a una especie dada, a un individuo específico de esa especie y, en muchos casos, a un órgano específico dentro del individuo.
proteína de transporte: proteína que regula el movimiento de moléculas solubles en agua a través de la membrana plasmática.
proteína portadora: proteína de la membrana que facilita la difusión de sustancias específicas a través de ella. La molécula que se ha de transportar se fija a la superficie externa de la proteína transportadora, la cual cambia entonces de forma y permite que la molécula atraviese la membrana a través de la proteína.
proteína receptora: proteína, situada en una membrana (o en el citoplasma), que reconoce moléculas específicas y se une a ellas. La unión a proteínas receptoras por lo regular hace que la célula produzca una respuesta, como endocitosis, aumento en la tasa metabólica o división celular.
protista: organismo eucariótico que no es planta, ni animal, ni hongo. El término comprende un conjunto diverso de organismos y no representa un grupo monofilético.
protocélula: precursor evolutivo hipotético de las células vivientes; consiste en una mezcla de moléculas orgánicas dentro de una membrana.
protón: partícula subatómica presente en el núcleo del átomo; lleva una unidad de carga positiva y tiene una masa relativamente grande, casi igual a la masa del neutrón.
protonefridio: sistema excretor que consiste en túbulos con abertura externa, pero sin aberturas internas; por ejemplo, el sistema de células flamígeras de los platelmintos.
protostoma: animal con un modo de desarrollo embrionario en el que el celoma se deriva de divisiones en el mesodermo; característico de los artrópodos, anélidos y moluscos.
protozoario: protista no fotosintético, con características semejantes a los animales.
pubertad: etapa del desarrollo de los humanos (que se inicia generalmente alrededor de los 13 años) caracterizada por el rápido crecimiento y la aparición de caracteres sexuales secundarios en respuesta a la creciente secreción de testosterona en los hombres y estrógeno en las mujeres.
puente: porción del rombencéfalo inmediatamente arriba del bulbo raquídeo; contiene neuronas que influyen en el sueño y el ritmo y patrón de la respiración.
puente de disulfuro: enlace covalente que se forma entre los átomos de azufre de dos cisteínas de una proteína; por lo general, hace que la proteína se pliegue al acercar partes de la proteína que de otro modo estarían distantes.
puente de hidrógeno: atracción débil entre un átomo de hidrógeno que tiene carga positiva parcial (porque está unido por un enlace covalente polar con otro átomo) y otro átomo, que generalmente es oxígeno o nitrógeno, con carga negativa parcial; los puentes de hidrógeno se forman entre átomos de una misma molécula o de diferentes moléculas.
puente transversal: en los músculos, extensión de la miosina que se une a la actina y tira de ella para producir la contracción muscular.
pulmón: cada uno de los dos órganos respiratorios que constan de cámaras que se inflan dentro de la cavidad torácica, en las cuales se efectúa intercambio gaseoso.
punto ciego: zona de la retina en la que los axones de las células ganglionares se fusionan para formar el nervio óptico.
pupa: etapa del desarrollo de algunas especies de insectos en la que el organismo deja de moverse y alimentarse y podría encerrarse en un capullo; se presenta entre las etapas larvaria y adulta.
pupila: abertura ajustable en el centro del iris, a través de la cual entra luz en el ojo.
queratina: proteína fibrosa del cabello, las uñas y la epidermis de la piel.
quiasma: punto en el que una cromátida de un cromosoma se entrecruza con una cromátida del cromosoma homólogo durante la profase I de la meiosis; lugar de intercambio de material genético entre cromosomas.
quimiorreceptor: receptor sensorial que responde a los estímulos químicos del ambiente; se utiliza en los sentidos del gusto y el olfato.
quimiosintético: capaz de oxidar moléculas inorgánicas para obtener energía.
quimiósmosis: proceso de generación de ATP en los cloroplastos y las mitocondrias. Se utiliza el movimiento de electrones en un sistema de transporte de electrones para bombear iones hidrógeno a través de una membrana, con lo cual se crea un gradiente de concentración de iones hidrógeno a través de la membrana; los iones hidrógeno regresan por difusión a través de la membrana por los poros de las enzimas sintetizadoras de ATP; la energía liberada al bajar por el gradiente de concentración impulsa la síntesis de ATP.
quimiotáctico: que se desplaza hacia las sustancias químicas que liberan los alimentos o se aleja de las sustancias químicas tóxicas.
quimo: mezcla ácida con apariencia de caldo parcialmente digerido, agua y secreciones digestivas que pasa del estómago al intestino delgado.
quiste: etapa encapsulada de latencia del ciclo vital de ciertos invertebrados, como los platelmintos y nematodos parásitos.
quitina: compuesto presente en la pared celular de los hongos y en el exoesqueleto de los insectos y algunos otros artrópodos; se compone de cadenas de moléculas de glucosa nitrogenadas y modificadas.
radiación adaptativa: surgimiento de muchas especies nuevas en un tiempo relativamente corto como consecuencia de que una especie invade diferentes hábitat y luego evoluciona por diferentes presiones ambientales en esos lugares.
radiactivo: dícese de un átomo con núcleo inestable que se desintegra espontáneamente y al hacerlo emite radiación.
radical libre: molécula con un electrón desapareado que es altamente inestable y reactiva en relación con las moléculas circunvecinas. Al robar un electrón de la molécula que ataca, crea un radical libre e inicia una reacción en cadena que puede conducir a la destrucción de moléculas biológicas cruciales para la vida.
radiolario: protista acuático (generalmente marino) que se caracteriza por conchas de sílice casi siempre de diseño complicado.
rádula: listón de tejido en la boca de los moluscos gasterópodos; tiene numerosos dentículos en su superficie externa y sirve al animal para raspar e introducir alimento en su boca.
raíz: parte del cuerpo de la planta, generalmente subterránea, que brinda anclaje, absorbe agua y nutrimentos disueltos y los transporta al tallo, produce varias hormonas y, en algunas plantas, sirve como almacén de carbohidratos.
raíz primaria: la primera raíz que se desarrolla a partir de una semilla.
raíz ramificada: raíz que brota como ramificación de otra por división de las células del pericliclo y diferenciación posterior de las células hijas.
raza pura: dícese de un individuo cuyos descendientes producidos a través de la autofecundación son idénticos al tipo parental. Los individuos de raza pura son homocigotos para un rasgo dado.
razonamiento deductivo: proceso consistente en generar hipótesis acerca del probable resultado de un experimento u observación.
razonamiento inductivo: proceso de elaborar una generalización sobre la base de muchas observaciones específicas que respaldan la generalización, junto con la ausencia de observaciones que la contradigan.
reabsorción tubular: proceso por el cual células de la nefrona eliminan agua y nutrimentos del filtrado que está dentro del túbulo y devuelven esas sustancias a la sangre.
reacción acoplada: par de reacciones, una exergónica y otra endergónica, vinculadas entre sí de tal forma que la energía producida por la reacción exergónica aporta la energía necesaria para llevar a cabo la reacción endergónica.
reacción de complemento: interacción entre células extrañas, anticuerpos y proteínas de complemento que da por resultado la destrucción de las células extrañas.
reacción en cadena de la polimerasa (RCP): método para producir un número prácticamente ilimitado de copias de un fragmento específico de DNA, partiendo incluso de una sola copia del DNA deseado.
reacción química: proceso que forma y rompe enlaces químicos que mantienen unidos los átomos.
reacciones dependientes de la luz: la primera etapa de la fotosíntesis, en la que la energía luminosa se capta como ATP y NADPH; se efectúa en los tilacoides de los cloroplastos.
reacciones independientes de la luz: la segunda etapa de la fotosíntesis, en la que la energía obtenida por las reacciones dependientes de la luz se usa para fijar dióxido de carbono en los carbohidratos; se efectúa en el estroma de los cloroplastos.
reactivo: átomo o molécula que se consume en una reacción química para formar un producto.
receptor: célula que responde a un estímulo ambiental (sustancias químicas, sonido, luz, pH, etcétera) modificando su potencial eléctrico; también se llama así a la molécula proteica de una membrana plasmática que se une a otra molécula (hormona o neurotransmisor) y causa cambios metabólicos o eléctricos en una célula.
receptor de célula T: receptor proteico situado en la superficie de una célula T; se une a un antígeno específico e inicia la respuesta inmunitaria de la célula T.
receptor del dolor: receptor celular que responde a ciertas sustancias que se producen como resultado del daño en un tejido, como iones potasio o bradiquinina, y es responsable de la sensación de dolor.
receptor sensorial: célula (por lo regular una neurona) especializada para responder a estímulos ambientales internos o externos específicos produciendo un potencial eléctrico.
recesivo: alelo que se expresa únicamente en homocigotos y está totalmente enmascarado en heterocigotos.
recombinación: formación de nuevas combinaciones de los diferentes alelos de cada gen de

un cromosoma; el resultado de un entrecruzamiento.
recombinación genética: generación de nuevas combinaciones de alelos de cromosomas homólogos debida al intercambio de DNA durante el entrecruzamiento.
recombinación sexual: durante la reproducción sexual, la formación de nuevas combinaciones de alelos en la progenie como resultado de la herencia de un cromosoma homólogo de cada uno de dos progenitores genéticamente distintos.
recto: porción terminal del tubo digestivo de los vertebrados, donde se acumulan las heces hasta que pueden eliminarse.
red alimentaria: representación de las complejas relaciones de alimentación (en términos de cadenas alimentarias que interactúan) de una comunidad; se incluyen numerosos organismos en diversos niveles tróficos, y muchos de los consumidores ocupan más de un nivel simultáneamente.
red nerviosa: forma simple de sistema nervioso; consta de una red de neuronas que se extienden por todos los tejidos de un organismo como un cnidario.
reflejo: movimiento simple y estereotipado de una parte del cuerpo que se efectúa automáticamente en respuesta a un estímulo.
regeneración: nuevo crecimiento de una parte del cuerpo perdida o dañada; también, reproducción asexual mediante el crecimiento de todo un cuerpo a partir de un fragmento.
región constante: parte de una molécula de anticuerpo que es similar en todos los anticuerpos de una clase dada.
región variable: parte de la molécula de un anticuerpo que difiere entre los anticuerpos: los extremos de las regiones variables de las cadenas ligera y pesada forman el sitio de unión específico para los antígenos.
regulación alostérica: proceso por el cual la acción enzimática aumenta o se inhibe, por efecto de pequeñas moléculas orgánicas que actúan como reguladoras al unirse a la enzima y alterar su sitio activo.
reino: la segunda categoría taxonómica más amplia, contenida dentro de un dominio y que consiste en fila o divisiones emparentados.
reloj biológico: mecanismo metabólico de medición del tiempo, presente en casi todos los organismos, mediante el cual el organismo mide la duración aproximada del día (24 horas), incluso en ausencia de señales ambientales externas como la luz y la oscuridad.
renina: enzima que se libera (en los mamíferos) cuando la presión arterial o la concentración de sodio en la sangre, o ambas cosas, caen por debajo de cierto punto; inicia una cadena de sucesos que restauran la presión arterial y la concentración de sodio.
replicación semiconservativa: proceso de replicación de la doble hélice del DNA; las dos cadenas de DNA se separan y cada una se utiliza como plantilla o molde para la síntesis de una cadena de DNA complementaria. Por ello, cada doble hélice hija consiste en una cadena parental y una cadena nueva.
reproducción asexual: reproducción en la que no hay fusión de células sexuales haploides. El organismo progenitor puede dividirse y regenerar partes nuevas, o puede formarse un nuevo individuo más pequeño adherido al progenitor, para luego desprenderse de éste una vez que está completo.
reproducción diferencial: diferencias cuantitativas de reproducción entre individuos de una población, generalmente como resultado de diferencias genéticas.
reproducción sexual: forma de reproducción en la que material genético de dos organismos progenitores se combina en la descendencia; generalmente, dos gametos haploides se fusionan para formar un cigoto diploide.
reptil: miembro del grupo de los cordados que incluye a las serpientes, los lagartos, las tortugas, los caimanes y los cocodrilos; no es un grupo monofilético.
reservas de la biosfera: regiones designadas por la ONU que pretenden conservar la biodiversidad y evaluar técnicas para el desarrollo humano sustentable mientras se preservan los valores culturales locales.
reservas núcleo: áreas naturales protegidas de casi todos los usos por parte de los seres humanos que comprenden suficiente espacio para preservar los ecosistemas con toda su biodiversidad.
reservorio: principal fuente y sitio de almacenamiento de un nutrimento en un ecosistema, normalmente en la porción abiótica.
resistencia a los antibióticos: capacidad de un patógeno mutante para resistir los efectos de un antibiótico que normalmente lo mataría.
resistencia ambiental: todo factor que tiende a contrarrestar el potencial biótico y a limitar así el tamaño de una población.
respiración celular: reacciones que requieren oxígeno; se llevan a cabo en las mitocondrias y descomponen los productos finales de la glucólisis en dióxido de carbono y agua, al tiempo que captan grandes cantidades de energía en forma de ATP
respuesta inflamatoria: respuesta local no específica a una lesión del organismo; se caracteriza por que los leucocitos fagocitan las sustancias extrañas y los restos de tejidos y por el aislamiento de la zona lesionada mediante coagulación de los líquidos que escapan de los vasos sanguíneos cercanos.
respuesta inmunitaria: respuesta específica del sistema inmunitario ante la invasión del organismo por parte de una sustancia extraña o un microorganismo; las células inmunitarias reconocen la sustancia extraña y los anticuerpos se encargan de destruirla.
retículo endoplásmico (RE): sistema de tubos y poros membranosos del interior de las células eucarióticas; en él se sintetizan casi todas las proteínas y los lípidos.
retículo endoplásmico liso: retículo endoplásmico sin ribosomas.
retículo endoplásmico rugoso: retículo endoplásmico cubierto en su cara exterior por ribosomas.
retículo sarcoplásmico: retículo endoplásmico especializado de las células musculares; forma tubos huecos interconectados. El retículo sarcoplásmico almacena iones calcio y los libera al interior de la célula muscular para iniciar la contracción.
retina: membrana de tejido nervioso, con varias capas, situada al fondo de los ojos tipo cámara; se compone de células fotorreceptoras más las células nerviosas asociadas que refinan la información de fotorrecepción y la transmiten al nervio óptico.
retroalimentación negativa: situación en la que un cambio inicia una serie de sucesos que tienden a contrarrestarlo y restaurar el estado original. La retroalimentación negativa en los sistemas fisiológicos mantiene la homeostasis.
retroalimentación positiva: situación en la que un cambio da pie a sucesos que tienden a amplificarlo.
retrovirus: virus que usa RNA como material genético. Cuando invade una célula eucariótica, un retrovirus "transcribe a la inversa" su RNA a DNA, el cual dirige entonces la síntesis de más virus, empleando la maquinaria de transcripción y traducción de la célula.
ribosoma: organelo que consta de dos subunidades, cada una compuesta por RNA ribosomal y proteína; sitio de la síntesis de proteínas, durante la cual la secuencia de bases del RNA mensajero se traduce en la secuencia de aminoácidos de una proteína.
ribozima: molécula de RNA que puede catalizar ciertas reacciones químicas, sobre todo las que participan en la síntesis y el procesamiento del mismo RNA.
riñón: cada uno de los dos órganos del sistema excretor situados a los lados de la columna vertebral; se encarga de filtrar la sangre para eliminar desechos y regular su composición y contenido de agua.
ritmo circadiano: suceso recurrente que se produce cada 24 horas, aun en ausencia de señales ambientales.
rizoide: estructura semejante a una raíz, presente en las briofitas, que ancla a la planta y absorbe agua y nutrimentos del suelo.
rizoma: tallo subterráneo, por lo regular horizontal, que almacena alimentos.
RNA de transferencia (tRNA): tipo de RNA que se une a un aminoácido específico, lo lleva a un ribosoma y lo acomoda para incorporarlo en una cadena de proteínas en crecimiento durante la síntesis proteica. Un conjunto de tres bases (el anticodón) del tRNA complementa el conjunto de tres bases en el mRNA (el codón) que codifica ese aminoácido en el código genético.
RNA mensajero (mRNA): cadena de RNA que es complemento del DNA de un gen y comunica la información genética del DNA a los ribosomas para usarla durante la síntesis de proteínas; las secuencias de tres bases (codones) del mRNA especifican los aminoácidos que deben incorporarse a una proteína.
RNA polimerasa: en la síntesis de RNA, enzima que cataliza la unión de nucleótidos de RNA libres para formar una cadena continua, empleando nucleótidos de RNA que son complementarios a los de una cadena de DNA.
RNA ribosómico (rRNA): tipo de RNA que se combina con proteínas para formar ribosomas.
rombencéfalo (cerebro posterior): parte posterior del encéfalo que contiene el bulbo raquídeo, el puente y el cerebelo.
ruta metabólica: sucesión de reacciones químicas dentro de una célula, en la que los productos de una reacción son los reactivos de la siguiente.
sabana: bioma dominado por pastos, que sustenta árboles dispersos y bosques de matorral espinoso; por lo regular tiene una estación de lluvias en la que cae toda la precipitación del año.
sacarosa: disacárido compuesto de glucosa y fructosa.
saco embrionario: gametofito femenino haploide de las plantas con flores.
saco vitelino: una de las membranas de los embriones de reptiles, aves y mamíferos; en las aves y los reptiles, membrana que rodea a la yema del huevo; en los mamíferos forma parte

del cordón umbilical y del tracto digestivo, pero está vacía.
sales biliares: sustancias que se sintetizan en el hígado a partir de colesterol y aminoácidos; ayudan a descomponer los lípidos dispersándolos en partículas pequeñas sobre las cuales pueden actuar las enzimas.
sangre: líquido compuesto de plasma y eritrocitos en suspensión; se transporta dentro del sistema circulatorio.
saprobiota: organismo que obtiene sus nutrimentos de los cuerpos de organismos muertos.
sarcodina: protista no fotosintético (protozoario) que se caracteriza por la capacidad de formar seudópodos; algunas sarcodinas, como las amibas, son desnudas, mientras que otras tienen conchas de diseño complicado.
sarcómero: unidad de contracción de una fibra muscular; subunidad de la miofibrilla que consiste en filamentos de actina y miosina y está delimitada por líneas Z.
saturado: dícese de un ácido graso que tiene el mayor número posible de átomos de hidrógeno unidos al esqueleto de carbono; ácido graso sin dobles enlaces en su esqueleto de carbono.
secreción tubular: proceso por el cual las células del túbulo de la nefrona extraen otros desechos de la sangre, secretándolos activamente hacia el túbulo.
secretina: hormona producida por el intestino delgado que estimula la elaboración y liberación de secreciones digestivas por el páncreas y el hígado.
secuenciación del DNA: proceso para determinar el orden de los nucleótidos en una molécula de DNA.
segmentación: 1 plan corporal de un animal en el que el cuerpo se divide en unidades repetidas que por lo regular son similares. **2** primeras divisiones celulares del embrión, entre las cuales hay poco o ningún crecimiento; se reduce el tamaño de las células y se distribuyen sustancias reguladoras de los genes a la célula recién formada.
segregación: véase *ley de la segregación.*
segunda ley de la termodinámica: principio de la física que dice que cualquier cambio en un sistema aislado hace que disminuya la cantidad de energía útil concentrada y que aumente la cantidad de aleatoriedad y desorden (entropía).
segundo mensajero: sustancia intracelular, como el AMP cíclico, que se sintetiza o se libera dentro de una célula como respuesta a la unión de una hormona o neurotransmisor (el primer mensajero) con receptores de la superficie celular; es el causante de cambios específicos en el metabolismo de la célula.
selección artificial: procedimiento de cruzamiento selectivo en el que se eligen como reproductores sólo los individuos con rasgos específicos; se usa principalmente para fomentar rasgos deseables en plantas y animales domésticos; también se usa en experimentos de biología evolutiva.
selección clonal: mecanismo mediante el cual el sistema inmunitario aumenta su especificidad; un antígeno invasor suscita una respuesta de sólo unos cuantos linfocitos, los cuales proliferan hasta formar un clon de células que atacan sólo el antígeno específico que estimuló su producción.
selección de linaje: tipo de selección natural que favorece cierto alelo porque mejora la supervivencia o el éxito reproductivo de individuos afines que llevan el mismo alelo.
selección direccional: tipo de selección natural en el que se favorece un fenotipo extremo por encima de todos los demás.
selección disruptiva: tipo de selección natural en la que se favorecen ambos fenotipos extremos por encima del fenotipo medio.
selección estabilizante: tipo de selección natural en la que se eliminan los organismos que exhiben fenotipos extremos.
selección natural: supervivencia y reproducción desiguales de organismos debido a fuerzas del entorno, cuyo resultado es la preservación de adaptaciones favorables. Por lo regular, la selección natural se refiere específicamente a la supervivencia y reproducción diferenciales con base en diferencias genéticas entre los individuos.
selección sexual: tipo de selección natural en que la pareja elegida por un sexo es el agente selectivo.
selectivamente permeable: cualidad de una membrana que permite que ciertas moléculas o iones se desplacen a través de ella más fácilmente que otros.
selva tropical: bioma con condiciones uniformemente cálidas y húmedas; dominado por árboles de hojas perennes y anchas; es el bioma más diverso.
sembrar sin labrar: técnica agrícola que deja los restos de los cultivos cosechados en la parcela para formar paja y hojas para el cultivo del año siguiente.
semen: fluido producido por el tracto reproductor masculino; contiene los espermatozoides.
semilla: estructura reproductora de las plantas de semilla; está protegida por un tegumento; contiene un embrión de la planta y una provisión de alimento para éste.
senectud: en las plantas, proceso de envejecimiento específico que por lo regular incluye deterioro y la caída de hojas y flores.
sépalo: conjunto de hojas modificadas que rodean y protegen al capullo de una flor; por lo regular forman estructuras verdes, similares a hojas, cuando la flor se abre.
septo: división que separa la hifa de un hongo en células individuales; poros en los septos permiten la transferencia de materiales entre células.
serotonina: en el sistema nervioso central, neurotransmisor que interviene en el estado de ánimo, el sueño y la inhibición del dolor.
servicios de los ecosistemas: procesos por los que los ecosistemas naturales y sus comunidades vivas sostienen y satisfacen la vida humana. Los servicios de los ecosistemas incluyen purificar el aire y el agua, reponer el oxígeno, polinizar las plantas, controlar las inundaciones, ofrecer hábitat para la vida silvestre y muchos más.
seudoceloma: "falso celoma"; cavidad corporal con un origen embrionario diferente del celoma, pero con una función similar; presente en los gusanos redondos.
seudoplasmodio: agregado de células amiboides individuales que forman una masa similar a una babosa.
seudópodo: extensión de la membrana plasmática con la cual ciertas células, como las amibas, se desplazan y fagocitan a su presa.
sésil: que no puede desplazarse; por lo regular está pegado a una superficie.
sífilis: enfermedad bacteriana de transmisión sexual que afecta a los órganos reproductores; si no se trata, puede dañar a los sistemas nervioso y circulatorio.
simbiosis: interacción estrecha entre organismos de diferentes especies durante un periodo prolongado. Una de las dos especies, o ambas, podrían beneficiarse por la asociación o (en el caso del parasitismo) uno de los participantes podría salir perjudicado. La simbiosis incluye parasitismo, mutualismo y comensalismo.
simbiótico: referente a una relación ecológica basada en la simbiosis.
simetría bilateral: distribución corporal en la que sólo un plano que pasa por el eje central divide el cuerpo en mitades que son imágenes especulares.
simetría radial: distribución corporal en la que cualquier plano que pase por un eje central dividirá el cuerpo en mitades que son aproximadamente imágenes especulares. Los cnidarios y muchos equinodermos adultos tienen simetría radial.
sinapsis: sitio de comunicación entre células nerviosas. En una sinapsis, una célula (presináptica) normalmente libera una sustancia (el neurotransmisor) que altera el potencial eléctrico de la segunda célula (postsináptica).
síndrome de alcoholismo fetal (SAF): conjunto de síntomas que incluyen retraso mental y anomalías físicas; se presenta en bebés nacidos de madres que consumieron grandes cantidades de bebidas alcohólicas durante el embarazo.
síndrome de Down: trastorno genético provocado por la presencia de tres copias del cromosoma 21; sus características más comunes incluyen retraso mental, párpados de forma peculiar, boca pequeña con lengua protruida, defectos cardiacos y escasa resistencia a las enfermedades infecciosas; también recibe el nombre de *trisomía 21.*
síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA): enfermedad infecciosa causada por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH); ataca y destruye las células T, lo que debilita el sistema inmunitario.
síndrome de Klinefelter: conjunto de características que suelen encontrarse en individuos que tienen dos cromosomas X y uno Y; estos individuos son fenotípicamente de sexo masculino, pero son estériles y tienen varios rasgos femeninos, como caderas anchas y desarrollo parcial de mamas.
síndrome de Turner: conjunto de características típicas de una mujer que sólo tiene un cromosoma X: esterilidad, muy baja estatura y falta de las características sexuales secundarias femeninas.
síndrome de Werner: condición poco común en la que un gen defectuoso causa envejecimiento prematuro; la causa es una mutación en el gen que codifica las enzimas de duplicación/reparación del DNA.
síntesis por deshidratación: reacción química en la que se unen dos moléculas mediante un enlace covalente, con eliminación simultánea de un átomo de hidrógeno de una molécula y un grupo hidroxilo de otra, que forman agua; reacción inversa de la hidrólisis.
sistema circulatorio abierto: tipo de sistema circulatorio de algunos invertebrados, como los artrópodos y moluscos, que incluye un espacio abierto (el hemocele) en el que la sangre baña directamente tejidos corporales.
sistema circulatorio cerrado: tipo de sistema circulatorio, presente en ciertos gusanos y ver-

tebrados, en el que la sangre siempre está confinada dentro del corazón y los vasos.
sistema de complemento: serie de reacciones por las que las proteínas de complemento se unen a los anticuerpos y atraen hacia ese punto leucocitos fagocíticos que destruyen la célula invasora que desencadena las reacciones.
sistema de órganos: dos o más órganos que colaboran para desempeñar una función específica; por ejemplo, el sistema digestivo.
sistema de raíces fibrosas: sistema de raíces que es común encontrar en las monocotiledóneas y que se caracteriza por un gran número de raíces, todas aproximadamente del mismo tamaño, que salen de la base del tallo.
sistema de raíz primaria: sistema de raíces, común en las dicotiledóneas, que consiste en una raíz principal larga y gruesa y muchas raíces laterales más pequeñas, todas las cuales crecen a partir de la raíz primaria.
sistema de tejido dérmico: sistema de tejido vegetal que constituye la cubierta externa del cuerpo de la planta.
sistema de tejido fundamental: sistema de tejido vegetal compuesto de células de parénquima, colénquima y esclerénquima, que constituye la mayor parte de una hoja o un tallo tierno, con exclusión de los tejidos vascular y dérmico. Casi todas las células del tejido fundamental participan en la fotosíntesis, el sostén o el almacenamiento de carbohidratos.
sistema de tejido vascular: sistema de tejido vegetal que consiste en xilema (que transporta agua y minerales de la raíz al vástago) y floema (que transporta agua y azúcares por toda la planta).
sistema de transporte de electrones: serie de moléculas portadoras de electrones, presentes en las membranas del tilacoide de los cloroplastos y en la membrana interna de las mitocondrias, que extraen energía de los electrones y generan ATP u otras moléculas de alta energía.
sistema digestivo: conjunto de órganos encargados de ingerir y luego digerir sustancias alimenticias para transformarlas en moléculas simples que se pueden absorber y de expeler del cuerpo los residuos no digeridos.
sistema endocrino: sistema de órganos de los animales que se encarga de la comunicación entre células; se compone de hormonas y de las células que las secretan y las reciben.
sistema haversiano: véase *osteón.*
sistema hidrovascular: en los equinodermos, sistema que consiste en una serie de canales a través de los cuales se conduce agua de mar y se utiliza para inflar los pies ambulacrales para locomoción, sujeción de alimentos y respiración.
sistema inmunitario: células como los macrófagos, las células B y las células T, y moléculas como los anticuerpos, que colaboran para combatir a los microorganismos que invaden el cuerpo.
sistema límbico: grupo diverso de estructuras cerebrales, en su mayor parte en el prosencéfalo inferior, que incluye el tálamo, el hipotálamo, la amígdala, el hipocampo y partes del cerebro; interviene en las emociones básicas, impulsos, conducta y aprendizaje.
sistema linfático: sistema que consta de vasos linfáticos, capilares linfáticos, ganglios linfáticos, el timo y el bazo; ayuda a proteger al cuerpo contra infecciones, absorbe grasas y devuelve el exceso de fluido y proteínas pequeñas al sistema circulatorio sanguíneo.
sistema nervioso autónomo: parte del sistema nervioso periférico de los vertebrados que hace sinapsis en glándulas, órganos internos y músculos lisos y produce respuestas involuntarias.
sistema nervioso central: en los vertebrados, el cerebro y la médula espinal.
sistema nervioso periférico: en los vertebrados, la parte del sistema nervioso que conecta el sistema nervioso central con el resto del cuerpo.
sistema nervioso somático: porción del sistema nervioso periférico que controla el movimiento voluntario activando músculos esqueléticos.
sistema radicular: todas las raíces de una planta.
sistema urinario: sistema de órganos que produce, almacena y elimina orina, la cual contiene desechos celulares, exceso de agua y nutrimentos, así como sustancias tóxicas o extrañas. El sistema urinario es fundamental para mantener las condiciones homeostáticas en el torrente sanguíneo. Incluye riñones, uréteres, vejiga y uretra.
sistemática: rama de la biología que se ocupa de reconstruir filogenias, además de nombrar y clasificar a las especies.
sitio activo: región de una molécula enzimática que se une a los sustratos y ejecuta la función catalítica de la enzima.
sobreexplotación: cacería o recolección de poblaciones naturales a una tasa que excede su capacidad para reponerse en términos cuantitativos.
sombra pluvial: área seca local creada por la modificación de los patrones de lluvia por una cordillera montañosa.
sonda de DNA: secuencia de nucleótidos que es complementaria con respecto a la secuencia de nucleótidos del gen que se estudia; se usa para localizar un gen específico durante la electroforesis en gel u otros métodos de análisis de DNA.
subclímax: comunidad en la que la sucesión se detiene antes de llegar a la comunidad clímax y se mantiene por perturbaciones regulares; por ejemplo, pradera de pastos altos mantenida por incendios periódicos.
subunidad: molécula orgánica pequeña; varias de ellas podrían unirse para formar una molécula mayor. Véase también *monómero.*
sucesión: cambio estructural en una comunidad y en su entorno inanimado, con el paso del tiempo. Durante la sucesión, las especies son sustituidas por otras de forma un tanto predecible, hasta que se llega a una comunidad clímax autosuficiente.
sucesión primaria: sucesión que se da en un entorno, como roca desnuda, en el que no estaba presente rastro alguno de una comunidad previa.
sucesión secundaria: sucesión que se da después de que una comunidad existente es perturbada; por ejemplo, después de un incendio forestal. Es mucho más rápida que la sucesión primaria.
sumidero: en las plantas, cualquier estructura que consume azúcares o los convierte en almidón y hacia la cual fluyen los fluidos del floema.
surgencia: flujo ascendente que lleva agua fría, cargada de nutrimentos, de las profundidades del océano a la superficie; se presenta a lo largo de costas occidentales.
sustancia de la reina: sustancia química producida por una abeja reina que puede actuar como iniciador y también como feromona.
sustitución de nucleótidos: mutación que cambia un nucleótido de una molécula de DNA por otro; por ejemplo, adenina por guanina.
sustrato: átomos o moléculas que son los reactivos de una reacción química catalizada por enzimas.
tablas de vida: tabla de datos que agrupa a los organismos nacidos en la misma época para hacer un seguimiento de ellos a lo largo de su ciclo de vida, registrando cómo muchos sobreviven en cada año sucesivo (u otra unidad de tiempo). El agrupamiento se hace de acuerdo con varios parámetros, como el sexo. Las tablas de vida incluyen muchos otros parámetros (como el nivel socioeconómico) que los demógrafos emplean con frecuencia.
taiga: bioma con inviernos largos y fríos y sólo unos cuantos meses de tiempo cálido; dominado por coníferas de hojas perennes; también llamado *bosque septentrional de coníferas o bosque boreal.*
tálamo: parte del prosencéfalo que retransmite información sensorial a muchas partes del cerebro.
tallo: porción del cuerpo de una planta que generalmente está sobre el suelo y que sostiene hojas y estructuras reproductoras como flores y frutos.
tasa de crecimiento: medida del cambio de tamaño de una población por individuo y por unidad de tiempo.
tasa de natalidad: número de nacimientos por individuo en una unidad especificada de tiempo, por lo general, un año.
tasa de mortalidad: número de muertes por individuo en una unidad especificada de tiempo, por lo general, un año.
taxia: comportamiento innato que es un movimiento dirigido de un organismo hacia un estímulo como calor, luz o gravedad o en sentido opuesto.
taxonomía: ciencia que clasifica a los organismos en categorías organizadas jerárquicamente con el fin de reflejar sus relaciones evolutivas.
Tay-Sachs, enfermedad de: enfermedad recesiva causada por una deficiencia de las enzimas que regulan la degradación de los lípidos en el cerebro.
tectónica de placas: teoría de que la corteza terrestre está dividida en placas irregulares que convergen, divergen o se deslizan una con respecto a la otra; estos movimientos causan la deriva continental, el movimiento de los continentes sobre la superficie de la Tierra.
tegumento: en las plantas, capas externas de células del óvulo que rodean el saco embrionario; se transforma en la cubierta de la semilla.
tejido: grupo de células (generalmente similares) que en conjunto desempeñan una función específica; por ejemplo, músculo; podría incluir material extracelular producido por sus células.
tejido adiposo: tejido compuesto de células que contienen grasa.
tejido conectivo: tipo de tejido compuesto de diversos tejidos como el óseo, el adiposo y el sanguíneo, que generalmente contiene grandes cantidades de material extracelular.
tejido epidérmico: tejido dérmico de las plantas que forma la epidermis, esto es, la capa celular más externa que recubre las plantas jóvenes.
tejido epitelial: tipo de tejido que forma membranas que cubren la superficie del cuerpo y

revisten sus cavidades; también da origen a glándulas.
tejido nervioso: el tejido que constituye el cerebro, la médula espinal y los nervios; consta de neuronas y células de la glía.
telofase: en la mitosis y en las dos divisiones de la meiosis, la etapa final en la que las fibras del huso desaparecen, se vuelve a formar una envoltura nuclear y, por lo general, se efectúa la citocinesis. En la mitosis y en la meiosis II, los cromosomas se relajan perdiendo su forma condensada.
telómero: nucleótidos en el extremo de un cromosoma que lo protegen del daño durante la condensación y evitan que se adhiera al extremo de otro cromosoma.
tendón: banda fibrosa de tejido conectivo que conecta un músculo a hueso.
tensión superficial: propiedad de un líquido por la cual resiste la penetración de objetos en su interfaz con el aire, en virtud de la cohesión entre las moléculas del líquido.
tentáculo: proyección alargada y extensible del cuerpo de los cnidarios y moluscos cefalópodos que puede servir para sujetar, picar e inmovilizar a la presa y para locomoción.
teoría: en ciencia, explicación general de fenómenos naturales que se basa en un gran número de observaciones susceptibles de repetición; es más general y confiable que una hipótesis.
teoría científica: explicación general de fenómenos naturales que se basa en un gran número de observaciones susceptibles de repetición; es más general y confiable que una hipótesis.
teoría de flujo-presión: modelo para el transporte de azúcares en el floema, por el cual el movimiento de azúcares al interior de un tubo criboso de floema hace que ingrese agua por ósmosis, mientras que la salida de azúcar por otra parte del mismo tubo criboso hace que salga agua por ósmosis; el gradiente de presión resultante causa el movimiento en volumen de agua y azúcares disueltos del extremo del tubo en el que se introduce azúcar al extremo del cual se saca azúcar.
teoría de la cohesión-tensión: modelo del transporte de agua en el xilema, según el cual el agua sube por los tubos del xilema impulsada por la fuerza de evaporación del agua en las hojas (que produce tensión) y se mantiene unida por efecto de los puentes de hidrógeno que se forman entre moléculas cercanas (cohesión).
terminaciones nerviosas libres: en ciertas neuronas receptoras, terminación finamente ramificada que responde al tacto y a la presión, al calor y al frío, o al dolor; produce sensaciones de comezón y cosquilleo.
terminal sináptica: engrosamiento en el extremo ramificado de un axón; punto en el que un axón forma una sinapsis.
termoacidófilo: arquea que prospera en ambientes calientes y ácidos.
termorreceptor: receptor sensorial que responde a cambios de temperatura.
territorialidad: defensa de una área que contiene recursos importantes.
testículo: gónada de los mamíferos machos.
testosterona: en los vertebrados, hormona producida por las células intersticiales de los testículos: estimula la espermatogénesis y el desarrollo de características sexuales masculinas secundarias.
tiempo meteorológico o atmosférico: fluctuaciones a corto plazo en la temperatura, la humedad, la nubosidad, el viento y la precipitación durante periodos de horas a días.
tiempo de duplicación: tiempo que tomaría a una población duplicar su tamaño a la frecuencia de crecimiento actual.
tilacoide: bolsa membranosa con forma de disco que se encuentra en los cloroplastos y cuyas membranas contienen los fotosistemas y las enzimas sintetizadoras de ATP que se usan en las reacciones dependientes de la luz de la fotosíntesis.
timina: base nitrogenada que sólo está presente en el DNA; se abrevia *T*.
timo: órgano del sistema linfático situado en la parte superior del pecho, frente al corazón, y que secreta timosina, la cual estimula la maduración de los linfocitos.
timosina: hormona secretada por el timo que estimula la maduración de las células del sistema inmunitario.
tinción de Gram: tinción que incorporan selectivamente las paredes celulares de las bacterias de ciertos tipos (bacterias grampositivas) y que rechazan las paredes celulares de otras (bacterias gramnegativas); se usa para distinguir las bacterias de acuerdo con la composición de su pared celular.
tiroides: glándula endocrina situada en el cuello frente a la laringe; secreta las hormonas tiroxina (que afecta la tasa metabólica) y calcitonina (que regula la concentración de ion calcio en la sangre).
tiroxina: hormona secretada por la glándula tiroides que estimula y regula el metabolismo.
tonsila: placa de tejido linfático que consiste en tejido conectivo con muchos linfocitos: situada en la faringe.
tórax: segmento entre la cabeza y el abdomen en animales segmentados; es el segmento al cual están sujetas las estructuras de locomoción.
traducción: proceso por el cual la secuencia de bases del RNA mensajero se traduce en la secuencia de aminoácidos de una proteína.
transcripción: síntesis de una molécula de RNA a partir de una plantilla o molde de DNA.
transcriptasa inversa: enzima presente en los retrovirus que cataliza la síntesis de DNA a partir de un molde de RNA.
transductor: dispositivo que convierte señales de una forma a otra. Los receptores sensoriales son transductores que convierten estímulos ambientales, como calor, luz o vibración, en señales eléctricas (como potenciales de acción) que el sistema nervioso reconoce.
transformación: método para adquirir nuevos genes, en el que el DNA de una bacteria (generalmente liberado después de que ésta muere) se incorpora al DNA de otra bacteria viva.
transgénico: animal o planta que expresa DNA derivado de otra especie.
transición demográfica: cambio en la dinámica de la población en el que una población estable experimenta rápido crecimiento y luego regresa a su tamaño estable (aunque mucho más grande).
transpiración: evaporación de agua a través de los estomas de una hoja.
transporte activo: movimiento de materiales a través de una membrana mediante el uso de energía celular, normalmente en contra de un gradiente de concentración.
transporte pasivo: movimiento de materiales a través de una membrana por un gradiente de concentración, presión o carga eléctrica sin consumir energía celular.
tráquea: en las aves y los mamíferos, tubo duro pero flexible, sostenido por anillos cartilaginosos, que conduce el aire entre la laringe y los bronquios; en los insectos, tubo con complejas ramificaciones que lleva aire desde aberturas llamadas *espiráculos* cerca de cada célula del cuerpo.
traqueofita: planta que tiene vasos conductores; planta vascular.
traqueoide: célula de xilema alargada con extremos en forma de huso, la cual contiene poros en la pared celular; forma tubos que transportan agua.
tricomoniasis: enfermedad de transmisión sexual, causada por el protista *Trichomonas*, que provoca inflamación de las membranas mucosas que recubren el tracto urinario y los genitales.
trifosfato de adenosina (o adenosín trifosfato, ATP): molécula compuesta del azúcar ribosa, la base adenina y tres grupos fosfato; es el mayor portador de energía en las células. Los dos últimos grupos fosfato están unidos por enlaces de "alta energía".
triglicérido: lípido compuesto por tres moléculas de ácido graso unidas a una sola molécula de glicerina.
trisomía 21: véase *síndrome de Down.*
trisomía X: condición de las mujeres que tienen tres cromosomas X en vez de dos, como es normal. Casi todas estas mujeres son fenotípicamente normales y fértiles.
trombina: enzima que se produce en la sangre como resultado de una lesión a un vaso sanguíneo: cataliza la producción de fibrina, una proteína que ayuda a formar coágulos de sangre.
trompa de Eustaquio: conducto que comunica el oído medio con la faringe; permite que se equilibre la presión entre el oído medio y la atmósfera.
tubo criboso: en el floema, una sola línea de elementos que transportan soluciones azucaradas.
tubo neural: estructura derivada del ectodermo durante el desarrollo embrionario temprano, la cual posteriormente se convierte en el cerebro y la médula espinal.
tubo uterino: también llamado oviducto, es el conducto que va del ovario al útero y por el que sale el ovocito secundario (óvulo).
túbulo: porción tubular de la neurona; incluye una porción proximal, el asa de Henle, y una porción distal. La orina se forma a partir del filtrado de la sangre al pasar por el túbulo.
túbulo distal: en las nefronas del riñón de los mamíferos, último segmento del túbulo renal por el que pasa el filtrado antes de vaciarse en el conducto colector; lugar de secreción y reabsorción selectivas durante el paso de agua e iones entre la sangre y el filtrado, a través de la membrana tubular.
túbulo proximal: en nefronas del riñón de los mamíferos, la porción del túbulo renal que está inmediatamente después de la cápsula de Bowman; recibe filtrado de la cápsula y es donde se inicia la secreción y reabsorción selectivas entre el filtrado y la sangre.
túbulo seminífero: en los testículos de los vertebrados, serie de tubos en los que se producen espermatozoides.
túbulo T: pliegue profundo de la membrana plasmática muscular; conduce el potencial de acción dentro de una célula.

tumor: masa que se forma en un tejido que, de otra forma, sería normal; se debe al crecimiento sin control de células.
tundra: bioma con condiciones climáticas rigurosas (frío y viento extremos y poca lluvia) que no permiten la supervivencia de árboles.
umbral: potencial eléctrico (menos negativo que el potencial de reposo) en el que se dispara un potencial de acción.
unicelular: formado por una sola célula; casi todos los miembros de los dominios Bacteria y Archaea, así como del reino Protista son unicelulares.
unidad motriz: neurona motriz individual y todas las fibras musculares en las que forma sinapsis.
uniformitarianismo: hipótesis de que la Tierra se desarrolló gradualmente a través de procesos naturales, similares a los que operan actualmente, y que se llevan a cabo a lo largo de mucho tiempo.
unión abierta (o en hendidura): tipo de unión entre células animales que tiene canales que comunican el citoplasma de las células adyacentes.
unión apretada: tipo de unión entre las células de animales que impide el paso de materiales a través de los espacios intercelulares.
unión neuromuscular: sinapsis que se forma entre una neurona motriz y una fibra muscular.
uracilo: base nitrogenada presente en el RNA; se abrevia *U*.
urea: producto de desecho de la descomposición de los aminoácidos; contiene nitrógeno, es soluble en agua y es uno de los principales componentes de la orina de los mamíferos.
uréter: conducto que lleva la orina de cada riñón a la vejiga.
uretra: conducto que va de la vejiga urinaria al exterior del cuerpo; en los machos, la uretra también recibe semen del conducto deferente y conduce tanto semen como orina (en ocasiones distintas) al extremo del pene.
útero: en mamíferos hembra, la parte del tracto reproductor que alberga al embrión durante el embarazo.
vacuna: inyección que contiene antígenos característicos de cierto organismo patógeno y que estimula una respuesta inmunitaria.
vacuola: vesícula que suele ser grande y consiste en una sola membrana que encierra un espacio lleno de fluido.
vacuola alimentaria: saco membranoso que se encuentra en el interior de una célula individual y contiene alimento. Se liberan enzimas digestivas en el interior de la vacuola, donde se lleva a cabo la digestión intracelular.
vacuola central: vacuola grande y llena de líquido que ocupa la mayor parte del volumen de muchas células vegetales; desempeña varias funciones, entre ellas la de mantener la presión de turgencia.
vacuola contráctil: vacuola llena de líquido de ciertos protistas que toma agua del citoplasma, se contrae y expele el agua hacia fuera de la célula a través de un poro de la membrana plasmática.
vagina: conducto que va del exterior del cuerpo de un mamífero hembra al cuello del útero.
válvula auriculoventricular: válvula cardiaca entre las aurículas y los ventrículos; impide el reflujo de sangre a las aurículas durante la contracción ventricular.
válvula semilunar: par de válvulas entre los ventrículos del corazón y la arteria pulmonar y la aorta; impide el reflujo de sangre hacia los ventrículos cuando se relajan.
válvula tricúspide: válvula que está entre el ventrículo derecho y la aurícula derecha del corazón.
variable: en un experimento científico, condición que se manipula deliberadamente para probar una hipótesis.
vascular: dícese de los tejidos que contienen vasos para transportar líquidos.
vasectomía: procedimiento quirúrgico en el que se cortan los conductos deferentes para impedir que los espermatozoides lleguen al pene durante la eyaculación y que el hombre sea fértil.
vaso: tubo de xilema compuesto por elementos de vaso apilados verticalmente y con paredes muy perforadas, o ausentes, en sus extremos para formar un cilindro hueco ininterrumpido.
vaso quilífero: capilar linfático individual que penetra cada vello del intestino delgado.
vaso sanguíneo: conducto por el que se transporta sangre a todas partes del cuerpo.
vástago: todas las partes de una planta vascular excepto la raíz; normalmente está sobre el suelo y consta de tallo, hojas, yemas y (en temporadas) flores y frutos; entre sus funciones están la fotosíntesis, el transporte de materiales, la reproducción y la síntesis de hormonas.
vector: portador que introduce genes ajenos en las células.
vejiga urinaria: órgano muscular hueco en el que se almacena la orina.
vellosidad: proyección delgada de la pared del intestino delgado que incrementa el área de absorción.
vellosidades coriónicas: en los embriones de mamífero, prolongaciones del corion, con apariencia de dedos, que penetran en el revestimiento uterino y constituyen la porción embrionaria de la placenta.
vena: en los vertebrados, vaso de diámetro grande y pared delgada que lleva sangre de las vénulas al corazón; en las plantas vasculares, haz vascular o cadena de xilema y floema en las hojas.
vena renal: la vena que lleva sangre depurada después de pasar por el riñón.
ventana oval: entrada del oído interno, cubierta por una membrana.
ventral: el lado inferior de un animal cuya cabeza está orientada hacia delante.
ventrículo: cámara muscular inferior de cada lado del corazón, que bombea sangre hacia fuera por las arterias. El ventrículo derecho envía sangre a los pulmones; el ventrículo izquierdo bombea sangre al resto del cuerpo.
vénula: vaso angosto con paredes delgadas que lleva sangre de los capilares a las venas.
verrugas genitales: enfermedad de transmisión sexual cuya causa es un virus; forma excrecencias o protuberancias sobre los genitales externos, adentro o alrededor de la vagina o ano, o en el cuello del útero en las mujeres y en el pene, el escroto, la ingle o los muslos en los varones.
vertebrado: animal que posee una columna vertebral.
vesícula: pequeña bolsa delimitada por membrana dentro del citoplasma.
vesícula biliar: saco pequeño, próximo al hígado, en el que se guarda y se concentra la bilis que secreta el hígado. La bilis se vierte de la vesícula biliar al intestino delgado a través del conducto biliar.
vesícula seminal: en mamíferos macho, glándula que produce un fluido alcalino que contiene fructosa y forma parte del semen.
vía C_4: serie de reacciones de ciertas plantas mediante la cual se fija dióxido de carbono en ácido oxalacético, el cual se degrada posteriormente para utilizarlo en el ciclo C_3 de la fotosíntesis.
viroide: partícula de RNA que puede infectar a una célula y dirigir la producción de más viroides; causa ciertas enfermedades de las plantas.
virus: partícula parásita acelular que consiste en un recubrimiento proteico que rodea a una cadena de material genético; sólo se multiplica dentro de las células de un organismo vivo (el huésped).
virus de la inmunodeficiencia humana (VIH): retrovirus patógeno que produce el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA) al atacar y destruir las células T del sistema inmunitario.
visión binocular: capacidad para ver los objetos simultáneamente con los dos ojos, lo que brinda mayor profundidad de percepción y un juicio más exacto del tamaño de un objeto y su distancia con respecto a los ojos.
vitaminas: diversas sustancias que deben estar presentes en muy pequeñas cantidades en la dieta para mantener la salud; el cuerpo las usa junto con las enzimas en diversas reacciones metabólicas.
xilema: tejido conductor de las plantas vasculares que transporta agua y minerales de la raíz al vástago.
xilema primario: xilema de tallos jóvenes producidos a partir de un meristemo apical.
xilema secundario: xilema producido a partir de células que surgen en la parte interior del cambium vascular.
yema: en los animales, copia pequeña de un adulto que se desarrolla en el cuerpo del progenitor y finalmente se desprende y vive de forma independiente; en las plantas, brote embrionario que normalmente es muy corto y se compone de un meristemo apical con varios primordios foliares.
yema de huevo: sustancia rica en proteínas o en lípidos contenidas en el huevo y que provee alimento para el embrión en desarrollo.
yema lateral: grupo de células meristemáticas en el nudo de un tallo; en condiciones apropiadas, crece para formar una rama.
yema terminal: tejido meristemático y primordio foliar circundante situados en la punta del vástago de la planta.
zarcillo: delgado apéndice de un tallo que se enrosca en objetos externos y brinda sostén al tallo; generalmente es una hoja o rama modificada.
zona afótica: región del océano por debajo de los 200 m, donde no penetra la luz solar.
zona costera cercana: región de aguas costeras que son relativamente poco profundas, aunque siempre está sumergida; incluye bahías y pantanos costeros y puede dar sustento a plantas o algas marinas grandes.
zona de intermareas (o intermareal): zona de la costa oceánica que alternadamente queda expuesta y cubierta por las mareas.
zona fótica: región del océano donde la luz tiene la intensidad suficiente para que se efectúe la fotosíntesis.
zona limnética: zona de un lago en la que penetra suficiente luz para que se lleve a cabo la fotosíntesis.

zona litoral: zona lacustre, cercana a la orilla, en la que el agua es poco profunda y las plantas encuentran luz abundante, anclaje y suficientes nutrimentos.
zona pelúcida: capa transparente, no celular, entre la corona radiada y el óvulo.
zona profunda: zona de un lago donde la luz es insuficiente para sustentar fotosíntesis.
zooflagelado: protista no fotosintético que se desplaza mediante flagelos.
zooplancton: protistas no fotosintéticos que abundan en entornos marinos y de agua dulce
zoospora: célula reproductora no sexual que nada por medio de flagelos; presente en los miembros de la división Oomycota de los protistas

Respuestas a las preguntas de pies de figura

CAPÍTULO 1

Figura 1-1
Algunos ejemplos: Se pueden contestar a nivel celular pero no al nivel tisular: ¿Cómo se transmiten las señales en una neurona? ¿Cómo se desplazan los glóbulos blancos hacia el sitio de una herida? ¿Cómo se mueven los cromosomas durante la división celular? ¿Cómo se adhieren las bacterias a la superficie? Se pueden contestar a nivel tisular pero no a nivel celular: ¿Qué parte del cerebro controla el habla? ¿Cómo ayudan los riñones a mantener el equilibrio de agua en el cuerpo? ¿Cuáles son las funciones de la piel? ¿Cómo sube el agua de la raíz a las hojas de una planta?

Figura 1-5
Las sustancias químicas antibacterianas producidas por los hongos probablemente evolucionaron porque mejoraron la capacidad del hongo para competir con las bacterias para tener acceso a los recursos, como el alimento y el espacio (al excluir a las bacterias de las áreas donde están presentes los hongos).

Figura 1-9
Sudar también reduce el contenido de agua del cuerpo así como de la cantidad de sales disueltas y otros iones. Al enfriar el cuerpo, para restaurar la temperatura, la homeostasis puede presentar efectos secundarios que desequilibran los niveles óptimos de agua y disuelven las concentraciones salinas. Estos desequilibrios, a la vez, estimulan los mecanismos para restaurar la homeostasis en esas características.

Figura E1-1
El experimento de Redi demostró que las larvas eran causadas por algo que había sido excluido por la cubierta de gasa, aunque existía la posibilidad de que algún agente ajeno a las moscas hubiera producido las larvas. Un experimento efectivo de seguimiento podría incluir una serie de sistemas cerrados que contengan carne y que sean idénticos en todos los aspectos, excepto por un solo elemento causal posible. Quizá a un frasco se le agregarían moscas, a otro frasco cucarachas, a otro polvo u hollín, y así sucesivamente. Y, por supuesto, al sistema de control no se le agregaría nada.

CAPÍTULO 2

Figura 2-2
Los átomos con capas exteriores sin llenar son reactivos, con una fuerte tendencia a formar enlaces con otros átomos, por lo que son adecuados para participar en las innumerables reacciones químicas del metabolismo y en la formación de moléculas complejas de las cuales está constituida la materia viviente. Las moléculas que más prevalecen en la vida son notables por su tendencia a participar en los enlaces covalentes.

Figura 2-6
El núcleo del oxígeno tiene ocho protones, mientras que el del hidrógeno sólo tiene un protón, de manera que la carga positiva del núcleo del oxígeno es mucho más fuerte que la del núcleo del hidrógeno.

Figura 2-9
Los radicales libres tienen átomos (a menudo de oxígeno) con uno o más electrones no apareados en sus capas externas, lo que los hace muy inestables y proclives a capturar electrones de las moléculas cercanas para completar sus capas externas. Esto puede conducir a cambios en las moléculas biológicas, incluido el DNA, que es fundamental para el funcionamiento celular adecuado.

CAPÍTULO 3

Figura 3-9
La principal desventaja del uso tan difundido de los plásticos es su resistencia a la degradación natural, además de los problemas consecuentes que generan por la persistencia a largo plazo de los desechos del material plástico en el ambiente. Los microbios descomponedores digieren fácilmente el almidón, así que los plásticos con base de almidón tendrían bastante potencial para ser biodegradables, mucho más que los plásticos con base en moléculas resistentes a los microbios como la celulosa. El principal desafío en el diseño de los plásticos basados en almidón es que sean suficientemente fuertes y duraderos.

Figura 3-16
Como los lípidos, los esteroides son solubles en la membrana celular a base de lípidos y pueden cruzarla (al igual que la membrana nuclear) y actuar dentro de la célula. Otros tipos de hormonas (en su mayoría péptidos) no son solubles en lípidos y, por consiguiente, no pueden cruzar fácilmente la membrana celular.

Figura 3-21
La energía calorífica puede romper los enlaces químicos, y los puentes de hidrógeno que forman la estructura proteínica secundaria (y de nivel más alto) son especialmente susceptibles al calor. Debido a que la capacidad funcional de una proteína generalmente depende de su forma, al romper los puentes de hidrógeno que controlan su configuración se desorganiza su función.

CAPÍTULO 4

Figura 4-4
De las cuatro estructuras listadas, solamente el ribosoma se encuentra en todas las ramas principales de la vida (por ejemplo, en las bacterias, arqueas y todas las células eucarióticas). Así, los ribosomas pudieron estar presentes en los ancestros comunes de todas las células vivas, y los núcleos, mitocondrias y cloroplastos pudieron haber surgido después.

Figura 4-10
Los procesos clave como la duplicación del DNA y la transcripción requieren que las moléculas enzimáticas tengan acceso a la cadena de DNA. La condensación del material genético restringe ese acceso porque deja poco espacio alrededor de las cadenas individuales.

CAPÍTULO 5

Figura 5-7
En la difusión simple (lado izquierdo de la figura) aumenta la tasa de difusión inicial al incrementarse el gradiente de la difusión inicial. En la difusión facilitada (derecha), la tasa de difusión inicial también aumenta con el gradiente de concentración inicial, pero a la larga alcanza un límite superior cuando se saturan las proteínas portadoras.

Figura 5-10
Los peces de agua dulce deben tener (y de hecho tienen) mecanismos fisiológicos que constantemente exportan agua al ambiente para compensar el agua que fluye hacia sus organismos por ósmosis.

Figura 5-11
La pared celular rígida de las células vegetales contrarresta la presión ejercida por el agua que entra por ósmosis. (El agua continuará entrando a la célula sólo hasta que se equilibre la presión osmótica por medio de la presión mecánica de la pared celular elástica). Las células animales carecen de una pared celular, y cuando se les coloca en una solución altamente hipotónica absorben agua por ósmosis hasta que revienta la membrana celular.

Figura 5-16
La exocitosis usa la energía celular, mientras que la difusión es pasiva. Además, mientras que los materiales se mueven a través de una membrana durante la difusión hacia fuera de la célula, en la exocitosis los materiales son expelidos sin que pasen directamente a través de la membrana plasmática. La exocitosis permite eliminar de la célula los materiales que son demasiado grandes como para pasar a través de las membranas.

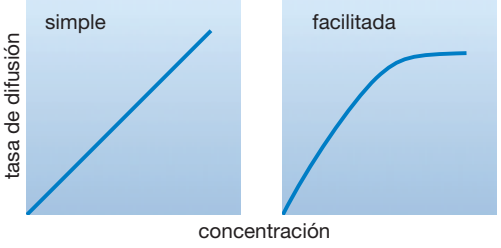
CAPÍTULO 6

Figura 6-6
Otras posibilidades incluyen la energía mecánica (por ejemplo, sacudirse), la electricidad y la radiación.

Figura 6-8
La conversión rompe un enlace de fosfato de "alta energía", y la energía almacenada en ese enlace puede transferirse a una molécula implicada en la reacción.

Figura 6-14
No. Un catalizador disminuye la energía de activación de una reacción, pero no la elimina. La energía de reacción debe ser superada para que proceda la reacción.

Figura 6-15
Lo mejor sería aumentar la concentración de la enzima, porque la velocidad de reacción a menudo está limitada por el número de moléculas de enzimas disponibles. Otras cosas que podrían resultar útiles incluyen aumentar la temperatura de la reacción (pero no tanto como desnaturalizar la enzima) y ajustar el pH al nivel en que la actividad de la enzima sea máxima (aunque esta última modificación requeriría un conocimiento específico acerca de la enzima).



CAPÍTULO 7

Figura 7-7
Casi todo el ATP y el NADPH producidos en el cloroplasto se usan para la producción de azúcar en el ciclo Calvin-Benson. Las mitocondrias se necesitan para extraer la energía almacenada en las moléculas de azúcar.
Figura 7-8
Los iones H cruzan la membrana a través del canal H^+ acoplado a una enzima que sintetiza ATP.
Figura 7-12
El ciclo C_4 es menos eficiente que el ciclo C_3; el C_4 usa un ATP extra por molécula de CO_2 (para regenerar PEP). Así, cuando abunda el CO_2 y la fotorrespiración no es un problema, las plantas C_3 producen azúcar con bajo costo de energía y compiten con las plantas C_4.

CAPÍTULO 8

Figura 8-3
En los ambientes ricos en oxígeno, ambos tipos de bacterias pueden sobrevivir, pero las bacterias aeróbicas prevalecen porque su respiración celular es mucho más eficiente (produce más ATP por molécula de glucosa) que la glucólisis. Sin embargo, en los ambientes pobres en oxígeno, las bacterias aeróbicas están limitadas por la escasez de este gas, mientras que las anaeróbicas prevalecen a pesar de su ineficiencia.
Figura 8-8
En ausencia de oxígeno, cesa la producción de ATP. El oxígeno es el receptor final en la cadena transportadora de electrones y, si no está presente, los electrones no pueden desplazarse a lo largo de la cadena (se "amontonan" en la cadena) y se detiene la producción de ATP por la quimiósmosis.

CAPÍTULO 9

Figura 9-5
Se requiere más energía para romper un par de bases C-G, porque se mantienen juntas por tres puentes de hidrógeno, en comparación con los dos puentes de hidrógeno que enlazan A con T.
Figura 9-7
La DNA polimerasa siempre se mueve en la dirección 3′ a 5′ en una cadena parental. Como las dos cadenas de una doble hélice de DNA están orientadas en direcciones opuestas, la dirección 5′ en una cadena conduce hacia la horquilla de duplicación y la dirección 5′ de la otra cadena se aleja de la horquilla. Por lo tanto, la DNA polimerasa debe moverse en direcciones opuestas en las dos cadenas.

CAPÍTULO 10

Figura 10-1
El mutante crecería en un medio simple si se agregara ornitina, citrulina o arginina.
Figura 10-4
La RNA polimerasa siempre viaja en la dirección 3′ a 5′
Figura 10-8
Agrupado en codones, la secuencia original del RNAm es CGA AUC UAG UAA. Al cambiar todas las G a U se produce la secuencia CUA AUC UAU UAA. Los dos cambios están en el primer codón (CGA a CUA) y el tercero (UAG a UAU). Consulta el código genético que se ilustra en la tabla 10-3. Primero, CGA codifica la arginina, mientras que CUA codifica la leucina, de manera que el primer cambio G → U sustituye la leucina por arginina en la proteína. Segundo, UAG es un codón de terminación, pero UAU codifica la tirosina. Por consiguiente, el segundo cambio G → U agregaría tirosina a la proteína en vez de detener la traducción. El codón final en la ilustración, UAA, es un codón de terminación, así que la nueva proteína terminaría con tirosina.

CAPÍTULO 11

Figura 11-10
Si las cromátidas hermanas de un cromosoma duplicado no logran separarse, entonces una célula hija no recibe ninguna copia de ese cromosoma, mientras que la otra célula hija recibe ambas copias.
Figura 11-21
Si un par de homólogos no se separa en la anafase I, una de las células hijas resultantes (y los gametos producidos de ella) tendría ambos homólogos y la otra célula hija (y los gametos producidos de ella) no tendría ninguna copia de ese homólogo.

CAPÍTULO 12

Figura 12-14
Usa el cuadro de Punnett para determinar si el genotipo de una planta que tiene semillas amarillas lisas puede revelarse por una cruza de prueba con una planta que tiene semillas verdes rugosas. Una planta con semillas verdes rugosas tiene el genotipo *ssyy*. Una planta con semillas amarillas lisas puede ser *SSYY, SsYY, SSYy* o Ss*Yy*. Prepara cuatro cuadros de Punnett para ver si el genotipo de la planta con semillas amarillas y lisas puede revelarse mediante una cruza de prueba.

CAPÍTULO 13

Figura 13-3
Los iniciadores (primer) dirigen la DNA polimerasa para que comience la síntesis del nuevo DNA en un sitio específico de la doble hélice. Por consiguiente, son esenciales para producir múltiples copias de segmentos específicos de DNA (genes), en vez de copiar secciones grandes de DNA no deseado.
Figura 13-7
Como sucede con otros genes, cada persona normalmente tiene dos copias de cada gen STR, uno en cada par de cromosomas homólogos. Un individuo puede ser homocigoto (con dos copias del mismo alelo) o heterocigoto (con una copia de cada uno de dos alelos) por cada STR. Las bandas sobre el gel representan a los alelos individuales de un gen STR. Por lo tanto, un solo individuo puede tener una banda (si es homocigoto) o dos bandas (si es heterocigoto). Si un individuo es homocigoto para un alelo STR, entonces tiene dos copias del mismo alelo. El DNA de ambos alelos (idénticos) correrán en el mismo lugar sobre el gel y, por lo tanto, esa banda (sola) tendrá el doble de DNA que cada una de las dos bandas de DNA del heterocigoto. Cuanto más DNA haya, más brillante será la banda .
Figura 13-8
Los campos con frecuencia son arados o escarificados (cuando la tierra se escarba por medio de cuchillas rotatorias) para desraizarla y eliminarle la maleza. Entonces la capa superior o mantillo del terreno queda susceptible para que se la lleve el viento o las lluvias intensas. En principio, los sembradíos resistentes a los herbicidas pueden plantarse directamente en los campos sin tener que arar el terreno. La maleza podría controlarse sin tener que arar ni escarificar los campos, por medio de herbicidas que la aniquilen sin dañar la cosecha. Si se deja el suelo tal como está, con una capa superior de plantas más o menos continua (la maleza primero y luego el sembradío), se erosionará con menos rapidez.

CAPÍTULO 14

Figura 14-6
No. La evolución puede incluir cambios en los rasgos que no se revelan en la morfología externa, como los sistemas fisiológicos y rutas metabólicas. Con mayor generalidad, la evolución en el sentido de los cambios en la poza génica de una especie es inevitable en todos los linajes; la evolución genética no necesariamente se refleja en el cambio morfológico.
Figura 14-18
Las posibilidades incluyen el cóccix (hueso caudal) —homólogo de los huesos caudales de un gato (o cualquier tetrápodo); "carne de gallina" —homólogo de pelos eréctiles del chimpancé (o cualquier mamífero; sirve para exhibir agresividad y aislamiento); apéndice —homólogo del intestino ciego de un conejo (y otros mamíferos herbívoros; extensiones del intestino grueso empleadas para almacenamiento); muelas de juicio —homólogos de molares posteriores trituradores de simios (u otros mamíferos) que comen hojas; músculos accionadores de las orejas (músculos alrededor de las orejas que algunas personas utilizan para moverlas) —homólogo con los músculos de un perro (y otros mamíferos) que mueven las orejas para orientarlas hacia algún ruido.
Figura 14-9
Análogas. Las plumas de la cola del pavo real y la cola de un perro se emplean para comunicación, así que tienen una función común, pero estructura muy diferente.

CAPÍTULO 15

Figura 15-3
Si el antibiótico induce de forma consistente las mutaciones para la resistencia antibiótica, se puede predecir el mismo patrón de colonias en las cajas de Petri que contienen estreptomicina que en las originales.
Figura 15-5

	B	***b***
b	*Bb* (negro)	*bb* (café)
B	*Bb* (negro)	*bb* (café)

Figura 15-6
El alelo *A* debe comportarse aproximadamente como lo hace en la población de tamaño 4, y su frecuencia deriva a la fijación o la pérdida en casi todos los casos. Sin embargo, como la población es un tanto grande, el alelo, en promedio, debe tardar más tiempo (mayor número de generaciones) para alcanzar la fijación o la pérdida. Cuanto más largo sea el periodo de la deriva, debe permitir también más inversiones de dirección (por ejemplo, deriva hacia abajo de la frecuencia, luego hacia arriba, luego otra vez hacia abajo, etcétera) que en la población tamaño 4.
Figura 15-7
Las mutaciones agregan, de manera inevitable y continua, variabilidad a una población y después de que ésta se vuelve más grande, se reduce la neutralización y los efectos de reducción en la diversidad de la deriva. El resultado neto es un aumento en la diversidad genética.
Figura 15-11
Mayor en los machos. El éxito reproductor de una hembra está limitado por su tamaño máximo de camada, pero el éxito reproductor potencial del macho está limitado sólo por el número de hembras disponibles. Cuando los machos pelean para poder cubrir a las hembras, como sucede con el carnero cimarrón de cuernos grandes, los machos vencedores pueden preñar a muchas de ellas, mientras que los perdedores no podrán fecundar a ninguna hembra. Así, la diferencia entre los machos con mayor éxito y los de menor éxito es muy considerable. En contraste, aun la hembra con mayor éxito puede producir sólo una camada en cada temporada de apareamiento, lo cual no representa mucho más en comparación con la hembra que no se reproduce.
Figura 15-13
Siempre hay un límite en la selección direccional. A medida que un rasgo se vuelve más extremo, a la larga el costo de aumentarlo sobrepasa por mucho los beneficios (por ejemplo, el costo de obtener alimento extra puede sobrepasar el beneficio de un tamaño más grande).

CAPÍTULO 16

Figura 16-9
Las posibilidades incluyen la deriva continental, los cambios climáticos (especialmente el avance de los glaciales) que causan la fragmentación de los hábitat, la formación de islas como resultado de la actividad volcánica o la elevación del nivel del mar, desplazamientos de organismos hacia las islas existentes (incluidas las "islas" de hábitat aislados como los lagos, cumbres montañosas, chimeneas de los mares profundos), formación de barreras para el desplazamiento (por ejemplo, cordilleras, desiertos, ríos). Estos procesos son muy comunes y diseminados, y representan una multitud de eventos de evolución de las especies a través de la historia de la vida.
Figura 16-10
pruebas podrían incluir la observación cuidadosa de las moscas en condiciones naturales, experimentos de laboratorio en los cuales a las moscas cautivas de los dos tipos se les dan oportunidades para cruzarse, o las comparaciones genéticas para determinar el grado de flujo de genes entre los dos tipos de moscas.
Figura 16-12
Presumiblemente simpátrico. Las especies en el lago Malawi se encuentran solamente en ese lugar y todas están más íntimamente relacionadas entre ellas que con cualquier otra especie fuera del lago. Este patrón sugiere que todas las especies surgieron de un solo ancestro común que estaba presente en el lago, y que todos los eventos de la evolución que condujeron a la diversidad actual de las especies tuvo lugar en una sola ubicación geográfica: el lago Malawi.
Figura 16-14
La selección natural no puede mirar hacia delante y asegurar que los únicos rasgos que evolucionan son aquellos que garantizan la supervivencia de las especies como un todo. En vez de ello, la selección natural asegura sólo la preservación de los rasgos que ayudan a los individuos a sobrevivir y reproducirse con más éxito que los individuos que carecen del rasgo. Así que, si en una especie en particular sobreviven los individuos altamente especializados y se reproducen mejor que los individuos menos especializados, el fenotipo especializado llega a predominar incluso si pone en riesgo de extinción a la especie.

CAPÍTULO 17

Figura 17-2
La presencia de oxígeno evitaría la acumulación de compuestos orgánicos al oxidar rápidamente a éstos o a sus precursores. Todos los exitosos experimentos de síntesis abióticos emplearon "atmósferas" libres de oxígeno.
Figura 17-4
La secuencia bacteriana sería muy parecida a la de la mitocondria vegetal, porque (como descendiente del ancestro inmediato de la mitocondria) la bacteria comparte con la mitocondria un ancestro común más reciente que con el cloroplasto o el núcleo.
Figura 17-7
Es más probable debido a la competencia con las plantas que poseen semillas, que no habían surgido aún durante el periodo en que los helechos y licopodios alcanzaron gran tamaño. Después de que surgieron las plantas con semillas, la competencia entre ellas a la larga eliminó otros tipos de plantas de muchos nichos ecológicos, tal vez incluidos los nichos que favorecían la evolución a un gran tamaño.
Figura 17-8
No. El pez saltarín del fango demuestra simplemente la admisibilidad de un paso intermedio hipotético en el escenario propuesto para el origen de los tetrápodos que viven en tierra firme. Pero la existencia de un ejemplo moderno similar en forma al intermediario hipotético no da información acerca de la identidad real de esa forma intermediaria.
Figura 17-10
En promedio, la tasa en la cual surgen las nuevas especies ha sido mayor que la tasa a la cual se han extinguido las especies.
Figura 17-18
La hipótesis del remplazo africano. Estos fósiles son los más antiguos del humano moderno que se hayan encontrado hasta ahora, y su presencia en África sugiere que los humanos modernos vivían en ese continente antes que en cualquier otro lado, lo cual, si es cierto, significaría que se originaron en África.
Figura E17-1
Una antigüedad de 356.5 millones de años. (Una proporción de 3:1 significa que quedan 3/4 del uranio 235 original, de manera que ha transcurrido la mitad de su vida media).

CAPÍTULO 18

Figura E18-3
Un grupo monofilético incluye todos los descendientes de un ancestro común. Los hongos y los animales son monofiléticos; los protistas, los grandes simios, las plantas sin semilla y los procariotas no lo son. (Los descendientes de los ancestros comunes más recientes de los protistas incluyen a todos los demás eucariotas; los descendientes del ancestro común más reciente de los grandes simios incluyen a los humanos; los descendientes del ancestro común más reciente de los procariotas incluyen a los eucariotas; y los descendientes del ancestro común más reciente de las plantas sin semillas incluyen a las plantas con semillas).

CAPÍTULO 19

Figura 19-4
Las estructuras protectoras como las endosporas tienen más probabilidad de evolucionar en ambientes en los cuales la protección es especialmente ventajosa. En comparación con otros ambientes habitados por bacterias, los suelos son especialmente vulnerables a la sequía, lo cual resulta fatal para las bacterias sin protección. Las bacterias que logran resistir largos periodos de sequía obtienen una ventaja evolutiva.
Figura 19-5
Las enzimas de las bacterias que viven en ambientes calientes son activas a altas temperaturas (las cuales generalmente desnaturalizan a las enzimas en los organismos de ambientes más templados). Esta capacidad para funcionar a temperaturas elevadas es de utilidad en las reacciones de laboratorio (como la PCR, *reacción de cadena polimerasa*), que utilizan altas temperaturas.
Figura 19-7
La fisión binaria elimina la necesidad de encontrar pareja, y es útil en ambientes relativamente constantes porque un individuo bien adaptado pasa todos sus genes y todos sus rasgos a las crías.
Figura 19-9
Aumentaría la concentración de gas nitrógeno, porque terminaría el proceso principal para eliminar el nitrógeno atmosférico, mientras que continuarían los procesos que agregan gas nitrógeno a la atmósfera.
Figura 19-12
Los virus carecen de ribosomas y del resto de la "maquinaria" requerida para manufacturar proteínas.
Figura 19-13

nético extraño dentro del virus, y éste tenderá de forma natural a transferir los genes extraños a las células que infectan.

CAPÍTULO 20

Figura 20-2
El acto sexual es el proceso que combina el material genético de dos individuos. En las plantas y los animales, esto ocurre sólo durante la reproducción. Pero en muchos protistas (y procariotas), el intercambio de genes ocurre independientemente de la reproducción, la cual con frecuencia es asexual.
Figura 20-7
Evolución convergente. Los mohos acuáticos y los hongos viven en ambientes similares y adquieren los nutrimentos en formas parecidas. Estas similitudes ecológicas han auspiciado la evolución de estructuras superficialmente parecidas, aunque las dos categorías taxonómicas sólo están lejanamente emparentadas.

CAPÍTULO 21

Figura 21-3
Las briofitas carecen de lignina (la cual brinda rigidez y sostén) y de vasos conductores (los cuales transportan los materiales a partes distantes del cuerpo). Parece que se requieren vasos y tallos rígidos para lograr una altura más allá de la mínima.
Figura 21-5
Todas las estructuras mostradas son esporofitos. En los helechos, colas de caballo y licopodios, el gametofito es pequeño y poco notorio.
Figura 21-7
Las adaptaciones más comunes son conchas protectoras duras y la incorporación de sustancias químicas tóxicas y/o de sabor desagradable.
Figura 21-10
Polinización

Tipo	Ventajas	Desventajas
Viento	No depende de la presencia de animales; no se requiere de néctar ni flores llamativas; el polen se dispersa a grandes distancias.	Se requiere mayor cantidad de polen porque la mayor parte no llega al óvulo; mayor probabilidad de fracaso para fertilizar.
Animal	Cada grano de polen tiene más oportunidades de llegar a un óvulo adecuado.	Depende de la presencia de animales; debe ofrecerse néctar y flores llamativas.

Ambos tipos de polinización persisten en las angiospermas por el balance de costo-beneficio y, por lo tanto, el sistema de polinización más adaptable, difiere dependiendo de las circunstancias ecológicas de una especie.

CAPÍTULO 22

Figura 22-1
delgadez de los filamentos asegura que ninguna célula quede muy lejos de la superficie de la cual se absorben los nutrimentos.
Figura 22-8
No. La fuente común de las dos hifas significa que ambas heredarán el mismo tipo de apareamiento. Las hifas deben ser de diferentes tipos de apareamiento para que se puedan reproducir sexualmente.
Figura 22-9
Haploides (aunque podría haber algunas células diploides en los basidios ocultas en las membranas de estos hongos haploides).
Figura 22-17
En la naturaleza las bacterias compiten con los hongos para tener acceso al alimento y al espacio dónde vivir. Las sustancias antibióticas producidas por los hongos sirven como una defensa contra la competencia por parte de las bacterias.

CAPÍTULO 23

Figura 23-4
Las esponjas son "primitivas" sólo en el sentido de que su linaje surgió temprano en la historia evolutiva de los animales, y su plan corporal es simple de manera comparativa. No obstante, las esponjas se han adaptado con bastante éxito a los hábitat marinos.
Figura 23-6
a) pólipo, *b*) medusa, *c*) pólipo, *d*) medusa
Figura 23-10
Las tenias carecen de intestinos y absorben los nutrimentos a través de la superficie corporal. Su forma de listón maximiza su área superficial para realizar la absorción y permite que el cuerpo se extienda a través del mayor espacio posible del cuerpo del huésped (para estar en contacto con la mayor cantidad posible de nutrimentos).
Figura 23-11
Dos aperturas permiten el viaje del alimento en un sentido a través del intestino. El movimiento en un solo sentido permite una digestión más eficiente que si fuera en dos sentidos; los desechos de la digestión por la cual se extrajeron todos los nutrimentos, pueden excretarse rápidamente sin necesidad de regresarlos a lo largo del intestino, y así el alimento puede procesarse con más rapidez.
Figura 23-12
El agua se desplaza con facilidad a través de la epidermis húmeda de una sanguijuela. Cuando una concentración elevada de sal se disuelve en la humedad del exterior del cuerpo de la sanguijuela, el agua se mueve rápidamente hacia fuera del cuerpo por ósmosis, lo que causa la deshidratación y la muerte del animal.

CAPÍTULO 24

Figura 24-6
Figura 24-8
Una ventaja es que los adultos y jóvenes ocupan hábitat diferentes y, por lo tanto, no compiten entre ellos por los recursos (se amplía el nicho ocupado por un individuo durante toda su vida).
Figura 24-11
El vuelo es un rasgo muy costoso (consume bastante energía y requiere de muchas estructuras especializadas). En circunstancias en que los beneficios del vuelo son pocos, como en los hábitat sin depredadores o en especies cuyo tamaño es muy grande, la selección natural favorece a los individuos que renuncian a invertir energía en el vuelo, y entonces surge la incapacidad para volar.

CAPÍTULO 25

Figura 25-1
Una posibilidad es que nunca ha surgido la variación necesaria para la selección. (Si por casualidad ningún miembro de la especie ha logrado la capacidad necesaria para discriminar entre sus propias crías y las del cuclillo, entonces la selección no tiene la oportunidad de favorecer el comportamiento incipiente). Otra posibilidad es que el costo del comportamiento es relativamente bajo. (Si es raro el parasitismo de los cuclillos, un progenitor que alimenta a cualquier polluelo en el nido tiene, en promedio, más posibilidades de resultar beneficiado que dañado).
Figura 25-7
Como el experimento de cruza muestra que las diferencias en la dirección de orientación entre las dos poblaciones surge de las diferencias genéticas, las aves de la población occidental debieran orientarse en una dirección hacia el suroeste, independientemente del ambiente en el cual se criaron.
Figura 25-21
La aptitud genética del pájaro satinado macho se comunica por medio de su capacidad para construir su morada. La hembra instintivamente lo reconoce y busca al mejor macho constructor para procrear a sus crías. Éstas heredarán cuando menos algunos de sus genes deseables, los cuales fortalecerán la capacidad de supervivencia y reproducción de las crías.
Figura 25-24
Los cánidos buscan alimento principalmente por medio del olfato; los simios lo hacen principalmente por medio de la vista. Las formas de emitir señales sexuales se ven afectadas no solamente por la naturaleza de la información que va a codificarse, sino también por los medios sensitivos de la especie en cuestión. Los sistemas de comunicación pueden desarrollarse para aprovechar los rasgos que originalmente evolucionaron a partir de otras funciones.

CAPÍTULO 26

Figura 26-2
La tasa de mortalidad necesitaría igualar al número de nuevas bacterias producidas; es decir, una cantidad de bacterias igual al tamaño de la población antes de duplicarse tendría que morir con cada duplicación.
Figura 26-4

producirse. La depredación de estos animales se ve influida tanto por el número de depredadores como por la disponibilidad de otras presas, lo cual a la vez se ve influido por las múltiples variables ambientales.

Figura 26-12

La emigración disminuye la presión de la población en una región superpoblada, al diseminar a los animales hacia nuevos hábitat que puedan tener más recursos. La emigración humana dentro de los países y hacia el exterior a menudo es impulsada por el deseo o necesidad de contar con más recursos, aunque los factores sociales, como las guerras y la persecución racial o religiosa, también fomentan la emigración humana. (Éste es un asunto subjetivo que puede conducir a discusiones acerca del grado en el que la sobrepoblación impulsa a la emigración humana.)

Figura 26-15

Son posibles muchos escenarios basados en diferentes suposiciones acerca de los adelantos tecnológicos, cambios en las tasas de natalidad y mortalidad, y la resistencia de los ecosistemas que nos sustentan. (Éste es un asunto subjetivo).

Figura 26-19

En la retroalimentación positiva, un cambio crea una situación que lo amplifica. Cuando la fertilidad excede la RLF (fertilidad en el nivel de reposición), hay más hijos que padres. A medida que los hijos adquieren madurez, y llegan a ser padres, esta generación más numerosa produce más hijos, y así sucesivamente.

Figura 26-20

Las altas tasas de nacimientos de los países en desarrollo se sostienen por las expectativas culturales, la falta de educación en materia de salud y la falta de acceso a métodos anticonceptivos. En los países desarrollados se fomentan las bajas tasas de natalidad por el fácil acceso a los métodos anticonceptivos, el alto costo relativo de criar a los hijos y las múltiples oportunidades que tienen las mujeres de ejercer una profesión. (Los estudiantes deben ser capaces de ampliar o agregar más ejemplos a estos factores).

Figura 26-21

El crecimiento demográfico en Estados Unidos está en la rápida fase de crecimiento "exponencial" de la curva S. La estabilización requerirá de alguna combinación para reducir las tasas migratorias y de natalidad. Un aumento en las tasas de defunciones es menos probable, aunque no puede desestimarse totalmente en un escenario futuro. (Debe animarse a los estudiantes a que especulen acerca del panorama para varios marcos temporales).

CAPÍTULO 27

Figura 27-1

eficazmente con las nativas si ocupan nichos muy similares.

Figura 27-3

Ésta es una pregunta con respuesta abierta; a continuación se incluyen algunos ejemplos: la excelente vista del halcón y el color de camuflaje del ratón. Los ojos de los depredadores que miran directamente hacia delante permiten una visión binocular y una buena localización de la presa, y los ojos situados a los lados de muchas presas dan una visión de 360 grados, lo que les permite detectar a los depredadores casi desde cualquier ángulo visual. Los pastos han desarrollado hojas con silicio resistente, y los herbívoros que se alimentan de ellos tienen dientes que crecen de manera continua durante toda su vida, de forma que no se desgastan completamente al comer los pastos abrasivos.

Figura 27-5

Aunque los científicos no han observado los ejemplos de evolución en el momento en que ésta tuvo lugar, un escenario probable es el siguiente. La mutación causó que algunos animales se parecieran más estrechamente al ambiente que otros miembros de su especie. Estos individuos tenían menos probabilidades de ser vistos y atrapados por los depredadores. Como resultado, sobrevivieron y se reprodujeron más, transmitiendo su apariencia determinada genéticamente a su progenie. Durante prolongados periodos de tiempo, las mutaciones que posteriormente dieron más realce al parecido con el entorno redujeron la depredación, haciendo una selección a favor de los individuos que presentaban esos rasgos genéticos.

Figura 27-11

Mientras que la presa suculenta a menudo ha evolucionado hasta parecerse al ambiente, las especies de presas venenosas (como la oruga monarca que almacena una toxina en su cuerpo) avisa con frecuencia su presencia por medio de brillantes colores. Los depredadores, una vez advertidos de su presencia, evitan molestarlas.

Figura 27-13

La gente cuyas actividades influyen en la comunidad puede hacer un esfuerzo especial para preservar o restaurar aquellas especies que dependen de la estructura comunitaria.

Figura 27-14

En los bosques en que se erradican los incendios, los árboles crecen de forma muy abundante y densa, y son menos sanos porque compiten unos con otros para captar la luz solar, los nutrimentos y el agua. Un incendio en estas condiciones arde a mayor temperatura y más profusamente, dejando menores cantidades de plantas vivas y de semillas para la recolonización del área, lo cual retarda la sucesión. Los incendios pequeños y de mayor frecuencia abren espacios en el bosque y permiten la sucesión localizada, lo cual aumenta el número de hábitat disponibles para una diversidad de especies animales y vegetales.

CAPÍTULO 28

Figura 28-3

elevada se ve respaldada por la abundancia de nutrimentos y luz adecuada, como sucede en los estuarios. La ausencia de nutrimentos limita la productividad en mar abierto.

Figura 28-6

Siempre que se utiliza la energía, se aplica la segunda ley de la termodinámica. Cuando la energía se convierte de una forma a otra, su cantidad útil disminuye. Buena parte de esta energía se pierde en forma de calor. Como se transfiere relativamente poca energía de un nivel trófico al siguiente, para mantener el estado de vida sumamente organizado, los animales deben consumir una gran cantidad de calorías del nivel trófico que está debajo de ellos. La disponibilidad de energía es más alta en los organismos que dependen de la fotosíntesis, el proceso que les permite atraparla directamente de la luz solar. La disponibilidad de energía disminuye con cada sucesiva transferencia de la misma a niveles tróficos más altos.

Figura 28-9

La necesidad de la humanidad de lograr cosechas abundantes para alimentar a la creciente población ha conducido a tener que atrapar el nitrógeno por medio de procesos industriales, para luego emplearlo en fertilizantes. Además, la alimentación a gran escala del ganado genera enormes cantidades de desechos nitrogenados. Los óxidos de nitrógeno se generan también cuando se queman combustibles fósiles en las plantas generadoras de electricidad, los vehículos las fábricas y cuando se queman los bosques. Las consecuencias incluyen la fertilización excesiva de lagos, ríos y partes del océano que reciben las aguas de escurrimiento procedentes de tierra firme. Otra consecuencia importante es la lluvia ácida, en la cual los óxidos de nitrógeno formados por la combustión producen ácido nítrico en la atmósfera; este ácido se deposita después en tierra firme.

CAPÍTULO 29

Figura 29-1

El gradiente de temperatura del ecuador al polo permanecería, pero no habría cambio en la duración del día o en las estaciones del año.

Figura 29-6

Ambas viven en medios áridos, así que su evolución ha seleccionado cuerpos carnosos que almacenan agua. En cada caso, se ha reducido el área de las hojas, limitando la evaporación. Ambas plantas son atractivas para los animales del desierto porque almacenan agua; como resultado de esta presión depredadora, ambas poseen espinas para su defensa.

Figura 29-9

Los nutrimentos son abundantes en las selvas tropicales lluviosas, pero no se almacenan en el suelo. La temperatura y la humedad óptimas en los climas tropicales permiten a las plantas utilizar de manera tan eficiente los nutrimentos que casi todos éstos se almacenan en los cuerpos de las plantas, y en menor grado, en el cuerpo de los animales a los que alimentan. Estas condiciones de crecimiento sostienen a un conjunto tan vasto de plantas, las cuales, a la vez, proveen hábitat y fuentes de alimento suficientes para diversos animales.

Figura 29-14

ción. Estas sustancias son solubles en agua, las cuales se eliminan cuando las lluvias son abundantes y entonces las plantas tienen muy buenas oportunidades de completar su ciclo vital.

Figura 29-17

Las praderas de pastizales altos son vulnerables a dos intrusiones principales. Primero, si los humanos suprimen los incendios naturales, las cantidades adecuadas de lluvia permiten a los bosques "tomar las riendas". Segundo, estos biomas ofrecen los suelos más fértiles del mundo y presentan excelentes condiciones para la agricultura, la cual ha desplazado a la vegetación nativa.

Figura 29-29

Los ecosistemas costeros tienen abundancia de los dos factores limitantes para la vida acuática: los nutrimentos y la luz para sostener a los organismos fotosintetizadores. Tanto la surgencia de las profundidades del océano como los escurrimientos terrestres proveen nutrimentos, dependiendo de la ubicación del ecosistema. Las aguas poco profundas en estas áreas dejan que la luz adecuada penetre para sostener a las plantas enraizadas y/o las algas ancladas, las cuales a la vez brindan alimento y refugio a una gran variedad de vida marina.

Figura 29-30

La decoloración se refiere a la pérdida de algas simbióticas que normalmente habitan en los tejidos coralinos y que les proveen la energía captada durante la fotosíntesis y el carbonato de calcio necesario para formar los esqueletos de coral. La pérdida de estos recursos a la larga puede matar a los corales. La decoloración es una respuesta común al agua excesivamente caliente, de manera que el calentamiento global contribuye a la desaparición de los arrecifes de coral.

CAPÍTULO 31

Figura 31-2

Si no funcionaran las terminales nerviosas que detectan el calor en los mamíferos, el sistema nervioso no enviaría una señal al hipotálamo cuando el cuerpo alcanza la temperatura del valor establecido o punto de referencia. En consecuencia, el hipotálamo enviaría señales continuas de "encendido" a los mecanismos del cuerpo que generan y retienen el calor, lo cual continuaría elevando la temperatura corporal. Esto podría conducir a la muerte al deteriorar la función enzimática y desorganizar las rutas bioquímicas cruciales para la vida.

Figura 31-7

En los cuerpos más pequeños, la proporción entre el área superficial y el volumen (y, por lo tanto, con la masa corporal) es mayor que en los cuerpos más grandes, así que la tasa de pérdida de calor (por unidad de masa corporal) es mayor. Por consiguiente, los individuos más jóvenes y más pequeños requieren de un aislamiento adicional para mantener la temperatura corporal. (La relación entre el volumen y el área superficial se explica en el capítulo 5).

Figura 31-8

Figura 31-11

La piel es funcional y está compuesta de varios tipos de tejidos (conectivo, epitelial, muscular y nervioso), mientras que la sangre es una unidad homogénea más funcional compuesta de células muy similares y de su matriz de líquido que las rodea, el plasma. No se pueden identificar dos o más tipos de tejido en la sangre, como se requiere para que una estructura constituya un órgano.

CAPÍTULO 32

FIGURA 32-4

Debido a que el tamaño de un músculo se logra por medio del ejercicio, el corazón de los atletas con buena condición física es más grande que el de la gente que lleva una vida sedentaria. El crecimiento del corazón hace más grande el volumen de los ventrículos, así que se bombea mayor volumen de sangre en cada latido. Como la demanda de oxígeno del cuerpo no cambia durante el reposo, puede satisfacerse con menos latidos por unidad de tiempo.

Figura 32-6

La gráfica de la figura 32-6 se muestra a continuación:

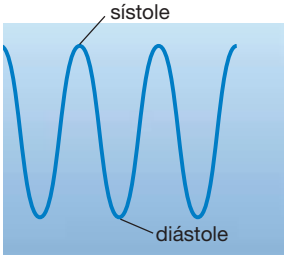


Figura 32-8

El hierro en un componente clave de la hemoglobina, la cual es necesaria para la producción de los glóbulos rojos capaces de transportar el oxígeno. Es necesario consumir hierro en la dieta para remplazar el que se excreta en los desechos corporales porque los glóbulos rojos se descomponen de forma continua después de que mueren, y el hierro no se recicla con un 100 por ciento de eficiencia.

Figura 32-10

La hormona eritropoyetina estimula la producción de glóbulos rojos adicionales. Estos glóbulos rojos extra aumentan la capacidad del organismo para llevar oxígeno a los músculos, por lo que aumenta la cantidad de tiempo en que éstos pueden trabajar sin llegar a la fatiga (el momento en que se agota la dotación de oxígeno de un músculo).

Figura 32-15

Los principios de la difusión (véase el capítulo 5) nos dicen que las moléculas se desplazan de un gradiente de mayor concentración a otro de menor concentración. Como los tejidos a través de los cuales pasan los capilares por lo general consumen oxígeno, la concentración de oxígeno es mayor dentro de los capilares que afuera, y el oxígeno se difunde de acuerdo con el gradiente de concentración desde el interior del capilar hacia el exterior. De manera inversa, los tejidos por lo general producen dióxido de carbono, de forma que la concentración de este último es más elevada en el exterior que en el interior de los capilares, y el dióxido de carbono se difunde de acuerdo con el gradiente de concentración del exterior al interior de los capilares.

CAPÍTULO 33

Figura 33-4

Los sistemas circulatorios abiertos de los insectos no están bien adaptados para transportar gases a largas distancias dentro del cuerpo (en comparación con los sistemas circulatorios cerrados). En vez de ello, los órganos respiratorios (y su apertura al ambiente) están situados cerca de todos los órganos y tejidos del cuerpo del insecto.

Figura 33-5

Como muchas especies de anfibios jóvenes respiran a través de branquias y puesto que tanto los jóvenes como los adultos a menudo dependen de la respiración a través de la piel, los anfibios viven en hábitat húmedos como los pantanos, ciénagas, charcas y en las selvas lluviosas.

Figura 33-11

La inhalación a gran altitud de la mujer contiene un menor volumen de aire que una inhalación a nivel del mar. Cuando el diafragma se contrae para expandir la cavidad torácica, el volumen de aire que entra en los pulmones depende de la presión del aire fuera del cuerpo. A gran altitud, la presión atmosférica es menor y hay menos aire para empujarlo a los pulmones. En general, la gente que viaja de una menor altitud a una mayor compensa la falta de aire respirando profundamente (esto hace que se agrande la cavidad torácica).

CAPÍTULO 34

Figura 34-6

Debido a que las poblaciones de microorganismos viven en la primera cámara del sistema digestivo, muchos de ellos pasan a otras cámaras, donde son digeridos y se convierten en una fuente adicional de proteína, carbohidratos y otros nutrimentos.

Figura 34-8

La falta de dientes es una adaptación para el vuelo. Las exigencias del vuelo han favorecido la evolución de las adaptaciones que reducen el peso corporal, incluida la pérdida de dientes (y de las quijadas duras y los músculos asociados con los dientes).

Figura 34-14

Un resultado probable es que el área superficial de absorción se lograría por alguna clase de adaptación, quizá un intestino más largo y una cavidad abdominal de mayor tamaño para contenerlo. Se podría especular acerca de otras características asociadas con un intestino mucho más largo (por ejemplo, características esqueléticas y musculares que tendrían que haber evolucionado para soportarlo).

CAPÍTULO 35

Figura 35-2

Figura 35-8
El consumo de alcohol tiende a causar deshidratación. Al beber grandes cantidades de líquidos (incluidos los que tienen base de alcohol) se disminuye la osmolaridad de la sangre por debajo del valor de referencia, lo que detiene la liberación de ADH y el estímulo del flujo de orina, así como la pérdida de agua. Pero el efecto de la retroalimentación negativa resultante se suprime (por ejemplo, aumento en la osmolaridad de la sangre), porque la liberación de ADH se interrumpe debido a los efectos del alcohol. Así, continúa la pérdida de agua incluso después de que se eleva la osmolaridad sobre su punto de estabilidad.

CAPÍTULO 36

Figura 36-5
Ciertos glóbulos blancos (por ejemplo, los monocitos) son capaces de tener una locomoción parecida a la de las amibas, por medio de la cual los glóbulos cambian de forma para extender sus protuberancias que les ayudan a moverse. Estas propiedades parecidas a las de las amibas permiten a los glóbulos blancos fluir a través de pequeñas aberturas de la pared capilar. Los glóbulos rojos no presentan estas mismas características de las amibas; conservan una sola forma y por consiguiente se mueven a través de espacios pequeños de la pared capilar.
Figura 36-6
La combinación de componentes variables y constantes permite a un anticuerpo realizar no solamente las funciones que son únicas de una molécula de un anticuerpo en particular (como reconocer y enlazarse a un antígeno específico), sino también llevar a cabo funciones que son comunes en todos los anticuerpos en una clase dada (por ejemplo, realizar la respuesta apropiada para neutralizar al invasor). Las regiones variables brindan las propiedades únicas; las regiones constantes aportan las propiedades universales.
Figura 36-10
Las células T citotóxicas se activan por antígenos en la superficie de la célula blanco, de manera que es de esperarse que las membranas de las células cancerígenas contengan moléculas distintivas anormales. Éste es de hecho el caso; las células cancerígenas presentan antígenos a tumores específicos.

CAPÍTULO 37

Figura 37-6
La participación de las células nerviosas en los ciclos de retroalimentación permite a las señales del nervio sensorial funcionar en los ciclos. Así, los sucesos como cambios de temperatura, de los niveles de glucosa y de la presión pueden activar y desactivar la liberación de hormonas; la información acerca de tales sucesos no puede comunicarse rápidamente por medio de mensajes químicos.
Figura 37-7
El enanismo puede tratarse administrando hormona del crecimiento a los individuos afectados; es mucho más difícil detener la producción excesiva de una hormona (especialmente de la hipófisis, como la hormona del crecimiento). La desorganización de la hipófisis con toda seguridad interferirá también con la liberación de muchas otras hormonas. (Muchos casos de gigantismo son causados por tumores en la hipófisis, los cuales pueden tratarse por medio de cirugía).
Figura 37-10
Un alto nivel de TSH indica que la glándula tiroides está produciendo una cantidad insuficiente de tiroxina (condición denominada hipotiroidismo). Cuando circula muy poca tiroxina en la sangre, la hipófisis anterior no recibe una señal de "apagarse", lo que hace que se produzca una corriente continua de TSH.
Figura 37-12
Los niveles de glucosa en la sangre serían bajos y descenderían rápidamente aun después de haberla repuesto por medio del alimento. Después de ingerir algún alimento, la glucosa elevada de un individuo estimula la producción de insulina, la cual reduce los niveles de glucosa, estimulando así la producción de glucagón. Pero las células corporales no reciben los mensajes de glucagón que las estimulan a liberar glucosa. Los niveles bajos de glucosa persistentes estimulan la producción de glucagón adicional, de manera que la circulación de éste resulta elevada pero sin ningún efecto.
Figura 37-15
Tal vez permanecerían en la forma de renacuajo y no sufrirían metamorfosis para convertirse en ranas.

CAPÍTULO 38

Figura 38-4
Con base en la evidencia, la toxina debe actuar en la parte postsináptica de la sinapsis al bloquear los receptores neurotransmisores. Si la toxina actuara bloqueando la liberación de neurotransmisores de la neurona presináptica, entonces al agregar un neurotransmisor a la sinapsis generaría un potencial de acción postsináptica. Si la toxina actuara evitando que se abrieran los canales de sodio, entonces no sería posible estimular un potencial de acción en la neurona presináptica.
Figura 38-5
Las áreas sensibles tienen mayor densidad de neuronas sensibles al tacto. Esto permite dos tipos de sensibilidad incrementada: **1.** La mayor densidad de receptores significa que el hecho de tocar cualquier parte en particular en el área sensible de la piel tiene mayor probabilidad de estimular cuando menos un receptor del tacto, lo que permite al cerebro determinar con más precisión la ubicación del estímulo. **2.** Una mayor densidad de receptores significa también que un toque con una fuerza determinada estimula un mayor número de neuronas, lo que el sistema nervioso central percibirá como un estímulo más fuerte.
Figura 38-10
Una espina dorsal lesionada o dañada impide la sensación de dolor porque no hay comunicación con el cerebro, pero no interrumpe el circuito reflejo, lo cual requiere sólo la transmisión dentro de una pequeña porción de la espina dorsal.
Figura 38-22
Para la miopía, la córnea se aplana, lo cual diverge los rayos luminosos entrantes antes de que lleguen al cristalino. Para la hipermetropía, se rebajan los bordes de la córnea, de manera que ésta adquiere una forma redondeada que hace converger los rayos luminosos entrantes.
Figura 38-25
Los no depredadores con visión binocular tienden a ser especies cuyos estilos de vida hacen que la percepción de la profundidad sea especialmente importante. Algunos ejemplos incluyen a los monos que tienen que hacer saltos precisos de un árbol a otro, y los murciélagos que tienen que hacer vuelos rápidos de precisión hacia donde se encuentran las flores o los frutos. En tales especies, las ventajas de la visión binocular probablemente son más importantes que el riesgo de la depredación que resulta de un campo visual estrecho.
Figura 38-29
Existen varias razones por las que las marsopas carecen de orejas grandes: **1.** Aunque las orejas grandes probablemente favorecerían la habilidad de las marsopas para detectar la presencia y dirección de retorno de un eco, el arrastre hidrodinámico ejercido por las orejas resultaría costoso para un animal que debe nadar suavemente en el mar, por lo que se convierten en una característica no seleccionada. **2.** El sonido viaja mucho mejor en el agua que en el aire, así que el eco de los sonidos de localización que emite una marsopa no son tan débiles como los sonidos de localización que emite un murciélago. **3.** Las marsopas atrapan presas mucho más grandes que las que atrapan los murciélagos, lo que contribuye a que el eco sea mucho más fuerte. **4.** La cabeza de una marsopa es mucho más grande que la de un murciélago, así que la separación entre sus oídos, aun sin las orejas, es todavía relativamente grande, lo que permite la localización precisa de los sonidos.

CAPÍTULO 39

Figura 39-4
Ni los filamentos gruesos ni los delgados se acortan. Ambos conservan la misma longitud durante toda la contracción, pero el sarcómero como un todo se acorta cuando los filamentos delgados se deslizan hacia el centro del sarcómero.
Figura 39-8
La gruesa coraza (o caparazón) ofrece buena protección contra los depredadores, pero resulta muy pesada. El agua ayuda a soportar al exoesqueleto y reduce la energía requerida para moverlo por todas partes. En tierra firme, el alto costo de energía de la coraza es prohibitivo, especialmente en los animales voladores (como en la mayoría de los insectos).

CAPÍTULO 40

Figura 40-2
Mitosis. (En los animales, la meiosis ocurre sólo como parte de la reproducción sexual).
Figura 40-4
La mejor hipótesis es que tener crías genéticamente diversas ofrece una ventaja principalmente ante las tensiones ambientales impredecibles que surgen durante el invierno. Durante el verano, es seguro llevar a cabo una estrategia de reproducción que haga énfasis en un gran número de crías; en cambio, una hembra que pasa el otoño produciendo crías genéticamente diversas con más probabilidad tendrá algunas que sobrevivirán en el invierno.

Figura 40-7
Los rituales del cortejo ayudan a asegurar que los animales se apareen con otros individuos de su propia especie. Los rituales de cortejo son mecanismos reproductores aislantes que ayudan a evitar un apareamiento híbrido potencialmente desventajoso. Las actividades de cortejo en algunas especies (como las del rinoceronte de Sumatra) estimulan la ovulación.
Figura 40-15
La testosterona en circulación suprime la liberación de FSH y LH de la hipófisis anterior, lo que a la vez suprime la producción de espermatozoides. (Se están desarrollando contraceptivos para hombres a base de testosterona.)
Figura 40-20
Una razón es que sólo un número grande de espermatozoides saludables pueden traspasar estas barreras . Los machos que tienen un número suficiente de espermatozoides tienen mayor probabilidad de producir crías saludables.
Figura E40-2
Al inyectar el espermatozoide, se evita la compleja interacción química entre el espermatozoide y el óvulo que acompaña a la fecundación normal. Es difícil predecir el resultado de la interacción entre un espermatozoide y las capas protectoras del óvulo, o saber si un espermatozoide dado será capaz de penetrar con éxito en el óvulo. De manera que al inyectar el espermatozoide aumentan las probabilidades de una fecundación exitosa.

CAPÍTULO 41

Figura 41-1
El desarrollo indirecto reduce la competencia entre el adulto y su descendencia. Los animales de desarrollo indirecto generalmente producen grandes cantidades de óvulos. Como sólo se produce una pequeña cantidad de vitelo y las crías por lo general se valen por sí solas después de nacer, el desarrollo indirecto no demanda demasiado por parte de la madre, lo que le permite engendrar un gran número de crías. Aunque la mayoría de ellas no sobreviven para llegar a la adultez, el hecho de dispersarse garantiza que habrá suficientes ejemplares para mantener la población.
Figura 41-2
Los animales de desarrollo directo por lo general producen cantidades relativamente pequeñas de óvulos o crías, las cuales se nutren dentro del cuerpo de la madre o se desarrollan dentro de huevos con grandes cantidades de vitelo. Los progenitores cuidan de las crías, las cuales tienen muchas más oportunidades de sobrevivir en comparación con las larvas de animales de reproducción indirecta.
Figura 41-5
No, una célula haploide (gametos y sus precursores) no funcionaría, porque las células haploides de los vertebrados sólo contienen la mitad de la cantidad normal de cromosomas.
Figura 41-14
Puesto que no hay placenta para el intercambio de nutrimentos, desechos y gases, el embrión se mantiene en el útero por un tiempo mucho más corto. Las crías nacen en un estado mucho menos desarrollado (marsupiales) o dejan a la madre como huevos (monotremas). En los marsupiales, el embrión está encerrado dentro de un amnios que lo segrega de la sangre de la madre (y, por lo tanto, del ataque del sistema inmunitario de ella); sin embargo, los nutrimentos no pueden pasar a través del amnios, y el embrión debe expulsarse del útero tan pronto como se agota su vitelo. El desarrollo continúa afuera del útero (por lo general dentro de una bolsa externa).

CAPÍTULO 42

Figura 42-3
El crecimiento primario ocurre en la punta de la raíz primaria, en las puntas de todas las raíces laterales, en la yema terminal, en todas las yemas laterales, y en las puntas de las ramas laterales. El crecimiento secundario ocurrirá a todo lo largo de las márgenes de las raíces primarias y laterales así como en los vástagos.
Figura 42-11
Como se muestra en la figura, la capa de floema queda cerca del exterior del tallo y es parte de la corteza. Al quitar una franja de corteza completamente alrededor del tallo principal (tronco) se crea un corte en los vasos del floema que conectan las raíces con el resto de la planta. Como el floema lleva los nutrimentos desde su punto de absorción hasta el sitio donde se van a usar, la planta no puede sobrevivir sin una conexión del floema entre (por ejemplo) sus fuentes de azúcar (las hojas) y sus sumideros de azúcar (las puntas de las raíces en crecimiento).
Figura 42-18
Un problema principal sería que los nutrimentos disueltos se saldrían del cilindro vascular a través de los espacios entre las células de la endodermis. Si eso sucediera, los nutrimentos se difundirían bajando por su gradiente de concentración hacia el suelo del entorno, por lo que la planta se perdería. La banda de Caspari asegura que el movimiento del agua y de los iones que entran y salen del cilindro vascular se regule por medio de las membranas celulares de las células endodérmicas.
Figura 42-19
Solamente las puntas en crecimiento de la raíz están infectadas porque ahí es donde tiene lugar la mayor parte de la absorción de agua y nutrimentos.
Figura 42-22
La fotosíntesis en la hoja es lenta y a la larga deja de llevarse a cabo porque su velocidad está limitada por la disponibilidad de CO_2, y como los estomas están cerrados, evitan que el aire llegue a los sitios donde se efectúa la fotosíntesis. Cuando los estomas están cerrados, la transpiración se vuelve lenta o se detiene y, por consiguiente, el ascenso del agua por la columna del xilema como resultado de la transpiración también se reduce o se interrumpe; además, el flujo masivo de agua hacia las raíces aminora o cesa. Pero aun así cierta cantidad de agua logra entrar en las raíces por ósmosis (por ejemplo, los iones siguen bombeándose hacia las células de la raíz y el agua fluye por ósmosis).

CAPÍTULO 43

Figura 43-3
Ventajas: Las plantas polinizadas por el viento potencialmente pueden fertilizar otras plantas en una región geográfica más extensa. La fecundación no depende del éxito de los polinizadores (es decir, no depende de los animales cuyas poblaciones pueden ir en declive o desaparecer). No hay necesidad de gastar energía en ofrecer estructuras y/o sustancias que atraigan a los polinizadores. *Desventajas:* La planta debe producir enormes cantidades de polen porque su dispersión aleatoria implica un desperdicio y también porque la mayor parte del polen no llega al gametofito femenino.
Figura 43-6
Los tiempos de florescencia separados reducen las oportunidades de la autofecundación, la cual derivaría en endogamia. Las plantas que no practican la endogamia en muchos casos tienen descendientes más exitosas. Los ejemplares que son producto de la endogamia tienen mayor probabilidad de tener alelos recesivos homocigotos nocivos.
Figura 43-19
Cuando el néctar está en la base de una flor tubular larga, es accesible para los colibríes (los cuales tienen pico y lengua largos), pero no para los insectos y otros animales pequeños que desearían ingerirlo. Una flor cuyo néctar no está accesible para los insectos, es probable que lo tenga disponible para los colibríes que la visitan; los colibríes aprenderán a visitar varias veces este tipo de flores, por lo que se asegura la polinización y reproducción de éstas.

CAPÍTULO 44

Figura 44-7
La auxina remplazaría a la punta al crear la dominancia apical, y las ramas laterales no retoñarían.
Figura 44-13
Los tomates maduros a menudo se dañan durante su transportación. Si se bloquea la producción de etileno se evita que maduren fuera de tiempo. Los tomates verdes pueden madurar después de que llegan al mercado si se les expone al etileno.

Créditos fotográficos

Fotos iniciales de unidad: Unidad 1: Dennis KunkeLPhototake NYC; Unidad 2: Ron Kimball/Ron Kimball Photography; Unidad 4: Paradise, Parte 1 de la Trilogía de la Tierra por Suzanne Duranceau/Ilustradora, Inc.

Capítulo 1 inicial: NASA Headquarters: 1-5: Christine Case; 1-9: AP Wide World Photos; 1-13: Teresa y Gerald Audesirk; E1-2: Nigel J. Dennis/Photo Researchers, Inc.

Capítulo 2 inicial: Stephen Dalton/Photo Researchers, Inc.; 2-10: Banana Stock/Jupiter Images-FoodPix-Creatas-Brand X-Banana Stock-PictureQuest; 2-12: Charles D. Winters/Photo Researchers, Inc.; 2-13a: Robert B. Suter, Vassar College; 2-13b: Teresa y Gerald Audesirk; E2-1c: National Institutes of Health/Science Source/Photo Researchers, Inc.; E2-2: Chocolate Manufacturers Association

Capítulo 3 inicial: © Yun Suk-Gong/epa/CORBIS, Todos los derechos reservados; 3-8a: Dr. Jeremy Burgess/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 3-9b: Dr. Jeremy Burgess/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 3-9c: Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.; 3-10R: Richard Kolar/Animals Animals/Earth Scenes

Capítulo 4 inicial: ©2006 Advanced Tissue Sciences, a Division of Advanced BioHealing, Inc. Todos los derechos reservados; Inicial inserto: ©206 Advanced Tissue Sciences, a Division of Advanced BioHealing, Inc. Todos los derechos reservados; 4-9b: Dra. Elena Kiseleva/SPL//Photo Researchers, Inc.; 4-11: Omikron/Science Source/Photo Researchers, Inc.; 4-12abajo/der: Barry F. King/Biological Photo Service; 4-13: Lee W. Wilcox; 4-16b:Thomas Eisner, Cornell University; 4-18: © E.H. Newcomb & W.P Wergin-/Biological Photo Service, Terraphotographics; 4-19: Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.; 4-20c: John Cardmore/BPS/Getty Images Inc.-Stone Allstock; 4-20d: TEM muestra la cadena de membranas fotosintéticas, CCMEE 5410. Phycobilisomeswere no se observa (Bar. 100nm). De PNAS 1/18/5; Vol. 12 (3) pág. 852, Fig 2A por Scott R. Miller, *et al.* Copyright © 205 National Academy of Sciences, USA; 4-21: © BBC Photo Library; E4-1b-abajo/izq, der: Brian J. Ford; E4-2b: David M. Phillips/Visuals Unlimited; E4-2d: National Library of Medicine

Capítulo 5: 5-10a,b,c: Joseph Kurantsin-Mills, The George Washington University Medical Center; 5-11 abajo/der/izq: Nigel Cattlin/Holt Studios International/ Photo Researchers, Inc.; 5-13: BCC Microimaging, Corp. Reproducida con permiso; 5-15b: © K.W. Jeon-/Visuals Unlimited; 5-15c: Dennis Kunkel/ Phototake NYC; 5-16der: L.A. Hufnagel, aspectos de ciliados protistas (Ciliophora), Journal of Electron Microscopy Technique, 1991. Microfotografiado por Jurgen Bohmer y Linda Hufnagel, University of Rhode Island; 5-21a: American College of Physicians; 5-21b: Scott Camazine/Phototake NYC; E5-1: Getty Images, Inc.; E5-2a: Reproducido con permiso de: Permeabilidad del agua en aquaporinas-1 (AQP1). Fig 3, Parte D de Trends in Biochem Science 1994, octubre; 19(10): 421-5 por Chrispeels MJ y Agre P Copyright © 1994 por Elsevier Science Ltd. Photo, cortesía de G.M. Preston

Capítulo 6 inicial: 6-1: © Tim Davis / CORBIS Todos los derechos reservados

Capítulo 7 inicial: Julian Baum/Photo Researchers, Inc.; 7-2izq: © J. Michael Eichelberger/Visuals Unlimited; 7-6: Teresa y Gerald Audesirk; 7-9: Colin Milkins/Oxford Scientific Films/Animals Animals/Earth Scenes

Capítulo 8 inicial inserto: Agence Zoom/Stringer-/Getty Images, Inc.; 8-3b: Teresa Audesirk

Capítulo 9 inicial: Yann Arthus-Bertrand/CORBISNY; 9-4b: © The Nobel Foundation 208; 9-4c: Cold Spring Harbor Laboratory Archives/Peter Arnold, Inc.; 9-5c: Michael Freeman/Phototake NYC; 9-9: De: New England Journal of Medicine: Vol. 350: 2682-2688, junio, 24, 204; Schuelke, Wagner. Stolz, ubner, Riebel, Komen, Braun, Tobin, Mutación de miostatina asociada con engrosamiento de los músculos por hipertiroidismo en un niño. Copyright © 208 Massachusetts Medical Society. Todos los derechos reservados; E9-3: A. Barrington Brown/Photo Researchers, Inc.; E9-7: Dr. Gopal Murti/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.

Capítulo 10: 10-6b: From Hamkalo y Miller. Vista de microscopio electrónico de material genético, figura 6a, pág. 379. Reproducido con permiso de Annual Review of Biochemistry, Vol. 42. © 1973 por Annual Reviews, Inc.; 10-12: Estate of Murray L. Barr, M.D., Robert M. Barr, M.D., Executor; E10-1: Howard W. Jones, Jr., M.D. Eastern Virginia Medical School; E10-2: Reproducido de C.J. Epstein *et al.*, Werner's syndrome: A review of its symptomatology, natural history, pathologic features, genetics, and relationship to the natural aging process. Medicine 45(3):177-221 (1966). Copyright © 1966 por Lippincott Williams & Wilkins.

Capítulo 11: 11-1a: © Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.; 11-1b: John Durham/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 11-1d: Teresa y Gerald Audesirk; 11-6: Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.; 11-9: CNRI/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 11-10a-h: M. Abbey/Photo Researchers, Inc.; 11-31: Paul J. Smith y Rachel Errington /Wellcome Trust Medical Photographic Library; E11-1: Cortesía de The Roslin Institute.; E11-2a: Business Wire Photos via Newscom.com/NewsCom; E11-2b: Tony Gutierrez/AP Wide World Photos

Capítulo 12 inicial: Ronald Modra / Sports Illustrated; 12-2: Archiv/Photo Researchers, Inc.; 12-21: Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.; 12-26: Jane Burton/Bruce Coleman Inc.; 12-29a: Dennis Kunkel/Phototake NYC; 12-31arriba: Gunn y Stewart/Mary Evans/Photo Researchers, Inc.; 12-33a: CNRI/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 12-33b: Lawrence Migdale/Lawrence Migdale/Pix; E12-1: A.Menashe/Humanistic-photography.com

Capítulo 13: 13-1a arriba/der: Stanley N. Cohen/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 13-2: www.glofish.com; 13-8: Monsanto Company; 13-12b: Cortesía de Promega Corporation; E13-1: Janet Chapple, autor de Yellowstone Treasures: The Traveler's Companion to the National Park; E13-4: Cortesía de Syngenta

Capítulo 14: 14-4c: Chip Clark; 14-10a,b,c: Photo Lennart Nilsson/Albert Bonniers Forlag AB; 14-13b: Timothy O'Keefe/Tom Stack & Associates, Inc.; 14-15: Patti Murray/Animals Animals/Earth Scenes; E14-2: Don & Pat Valenti/DRK Photo; E14-2ins: Ingo Arndt-/Foto Natura/Minden Pictures

Capítulo 15: 15-8-1: Alan Mason Chesney Medical Archives del Johns Hopkins Institutions; 15-10a: Patti Murray/Animals Animals/Earth Scenes; 15-10b: Tim Davis/Davis/Lynn Images; 15-11: W. Perry Conway-/Tom Stack & Associates, Inc.; 15-14: Thomas B. Smith, Ph.D./Profesor de ecología y biología evolutiva y director del Center for Tropical Research/UCLA Institute of The Environment

Capítulo 16 inicial: Claro Cortes IV/Reuters Limited; 16-4: Tim Laman/NGS Image Collection: 16-5: Joy Spurr/Bruce Coleman Inc.; 16-6: Loic Degen; 16-7a,b,c: De: Nature 203 425:679, Fig 1a. especiación de genes simple que se enrollan de izquierda a derecha. Por Rei Ueshima y Takahiro Asami; 16-8: Gerard Lacz /Animals Animals/Earth Scenes; E16-3: Mileniusz Spanowicz

Capítulo 17 inicial: National Geographic Image Collection; 17-5*:* Michael Abbey/Visuals Unlimited; 17-7: Ilustración de Ludek Pesek/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 17-13: ©Michel Brunet/M.P.F.T.; 17-16: David Frayer, Dept. de Antropología, University of Kansas

Capítulo 18 inicial: Tom Brakefield/DRK Photo; 18-2a: C. Steven Murphree/Biological Photo Service; 18-2b: Dr. Greg Rouse, Departamento de Invertebrados, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution; 18-4b: Reimpreso con permiso de Springer-Verlag de W. J. Jones, J. A. Leigh, F. Mayer, C.R. Woese, y R.S. Wolfe, Archivos de Microbiología 136:254-261 (1983). © 1983 por Springer-Verlag GmbH & Co KG. Imagen cortesía de W. Jack Jones

Capítulo 19 inicial: AP Wide World Photos; 19-3: © Eye of Science/Photo Researchers, Inc.; 19-4: A.B. Dowsett/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 19-6: Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.; 19-7: CNRI/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 19-8: Dennis Kunkel/Phototake NYC; 19-9a,b: C. P. Vance/Visuals Unlimited; 19-11UL: MANFRED KAGE/Peter Arnold, Inc.; 19-11arriba-/der: Dept. de Microbiología, Biozentrum/Photo Researchers, Inc.; 19-13: Oliver Meckes/Ottawa/Photo Researchers, Inc.; 19-14: © EM Unit, VLA/Photo Researchers, Inc.

Capítulo 20 inicial: Olivier Digoit/Alamy Images; 20-1: M. I. Walker/Photo Researchers, Inc.; 20-2a: Carolina Biological Supply Company/Phototake NYC; 20-2b: Eric Grave/Science Source/Photo Researchers, Inc.; 20-3: P. M. Motta y F.M. Magliocca/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 20-4: David M. Phillips/The Population Control/Photo Researchers, Inc.; 20-6: Oliver Meckes/Photo Researchers, Inc.; 20-7: William Merrill, Penn State University; 20-9a: D.P. Wilson/Eric y David Hosking/Photo Researchers, Inc.; 20-9b: Minden Pictures; 20-10: David M. Phillips-/Visuals Unlimited; 20-14: Oliver Meckes & Nicole Ottawa/Eye of Science/Photo Researchers, Inc.; 20-15b: Manfred Kage/Peter Arnold, Inc.; 20-16: Dennis Kunkel/Phototake NYC; 20-17a: P.W. Grace/Science Source/Photo Researchers, Inc.; 20-17b: Cabisco/Visuals Unlimited; 20-18W: Cabisco/Visuals Unlimited; 20-19: Mark Conlin Photography; 20-20a: © Ray Simons/Photo Researchers, Inc.; 20-20b: SeaPics.com

Capítulo 21: 21-8b: Teresa y Gerald Audesirk

Capítulo 22 inicial: Michael W. Beug; 22-1a: Robert & Linda Mitchell Photography; 22-1b: Elmer Koneman-/Visuals Unlimited; 22-2: Jeff Lepore/Photo Researchers, Inc.; 22-4: Thomas J. VoIk, TomVolkFungi.net; 22-5b: Carolina Biological Supply Company/Phototake NYC; 22-6ins: Andrew Syred/Photo Researchers, Inc.; 22-8ins: S Lowry/Univ.Ulster/Getty Images Inc.-Stone Allstock; 22-9b: David M. Dennis/Tom Stack & Associates, Inc.; 22-10: Darrell Hensley, Ph.D., University

of Tennessee, Entomology & Plant Pathology; 22-13: Stanley L. Flegler/Visuals Unlimited; 22-15a: Michael Fogden/DRK Photo; 22-15b: Hugh Sturrock/University of Edinburgh; 22-16: David M. Phillips/Visuals Unlimited; 22-17: Teresa y Gerald Audesirk; 22-19: G.L. Barron/Biological Photo Service; 22-20: Cabisco-/Visuals Unlimited

Capítulo 23 inicial: Eloy Alonso Gonzalez/Reuters Limited; 23-4c: © Charles Seaborn/Odyssey/Chicago; 23-6c: Teresa y Gerald Audesirk; 23-6d: David B. Fleetham/SeaPics.com; 23-9a: Dr. Richard Kessel & Dr. Gene Shih/Visuals Unlimited/Getty Images, Inc.; 23-9b: M. I. (Spike) Walker/Alamy Images; 23-9c: Dr. Wolfgang Seifarth; 23-10arriba/der1: Martin Rotker /Phototake NYC; 23-10arriba/der2: Stanley Flegler-/Visuals Unlimited; 23-12a: Kjell B. Sandved/Butterfly Alphabet, Inc.; 23-12b: ©204Peter Batson/Image Quest Marine; 23-12c: J.H. Robinson/Photo Researchers, Inc.; 23-14a: Ray Coleman/Photo Researchers, Inc.; 23-14b: Alex Kerstitch/Estate of AIex Kerstitch; 23-17: © Reg Morrison/Auscape/Minden Pictures; 23-21a: Carolina Biological Supply Company/Phototake NYC; 23-21c: Stephen Dalton/Photo Researchers, Inc.; 23-21e: Stanley Breeden/DRK Photo; 23-22c: Teresa y Gerald Audesirk; 23-24a: Tom Branch/Photo Researchers, Inc.; 23-24b: Peter J. Bryant/Biological Photo Service; 23-24c: Carolina Biological Supply Company/Phototake NYC; 23-24d: Alex Kerstitch/Estate of Alex Kerstitch; 23-25: Tom E. Adams/Peter Arnold, Inc.; 23-26a: Carolina Biological Supply Company/Phototake NYC; 23-26b: Reproducida con permiso de Howard Shiang, D.V.M., Journal of the American Veterinary Medical Association 163:981, octubre, 1973.; 23-27a: Teresa y Gerald Audesirk; 23-27b: Jeff Foott Productions; 23-27c: Chris Newbert-/Bruce Coleman Inc.; 23-28b: Michael Male/Photo Researchers, Inc.; 23-29: Dr. Tsunemi Kuboders/National Science Museum/AP Wide World Photos

Capítulo 24 inicial: Getty Images, Inc.; 24-2: John Giannicchi/Science Source/Photo Researchers, Inc.; 24-3ins: Runk/Shoenberger/Grant Heilman Photography, Inc.; 24-3der: Tom McHugh/Photo Researchers, Inc.; 24-4a: Tom McHugh/Steinhart Aquarium/Photo Researchers, Inc.; 24-4b: Tom Stack & Associates, Inc.; 24-4bI: Breck P. Kent; 24-6a: Peter David/Getty Images Inc. - Hulton Archive Photos; 24-6b: Mike Neumann/Photo Researchers, Inc.; 24-7a: Tom McHugh/Photo Researchers, Inc.; 24-7b: Alan Root/Survival Anglia/OSF/Photolibrary.Com; 24-8c: Cosmos Blank/National Audubon Society/Photo Researchers, Inc.; 24-10: Carolina Biological Supply Company/Phototake NYC; 24-11b: Carolina Biological Supply Company/Phototake NYC; 24-12: Tom McHugh/Photo Researchers, Inc.; 24-14aI: D. Parer y E. Parer-Cook/Auscape International Proprietary Ltd.; 24-15a: FIip Nicklin/Minden Pictures; 24-15b: Jonathan Watts/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 24-15c: C. y M. Denis-Huot/Peter Arnold, Inc.; E24-l: Stanley Breeden/DRK Photo

Capítulo 25: inicial inserto: Joe McDonald/DRK Photo; 25-1a,b: Eric y David Hosking/Frank Lane Picture Agency Limited; 25-3a-e: Boltin Picture Library; 25-6: Thomas McAvoy/Getty Images/Time Life Pictures; 25-9: Ken Cole/Animals Animals/Earth Scenes; 25-10: Richard K. LaVal/Animals Animals/Earth Scenes; 25-14b: Marc Chamberlain/Marc C. Chamberlain; 25-15: Ray Dove/Visuals Unlimited; 25-16: William Ervin-/Natural Imagery; 25-17: Michael K. Nichols/National Geographic Image Collection; 25-18: John D. Cunningham/Visuals Unlimited; 25-21a: © Konrad Wothe/Minden Pictures; 25-24a: Dwight R. Kuhn Photography; 25-24b: Teresa y Gerald Audesirk; 25-27: © Raymond Mendez/Animals Animals/Earth Scenes; 25-28: Photo Lennart Nilsson/Albert Bonniers Forlag; 25-29: William P. Fifer, New York State Psychiatric Institute, Columbia University; 25-31: en Animal Behaviour, 202, 64, 233-238 por Koehler N. Rhodes, G., & Simmons L.W. Copyright © 206 por Elsevier Science Ltd. Imagen cortesía de Animal Behavior.

Capítulo 26: 26-10: Tom McHugh/Photo Researchers, Inc.; 26-11: USDA Forest Service Archives, USDA Forest Service. www.insectimages. org; 26-11ins: Milan Zubrick, Forest Research Institute - Slovakia, www.insectimages.org; 26-12: Hellio-Van Ingen/Auscape International Proprietary Ltd.; 26-13a: Robert & Linda Mitchell Photography; E26-3I: Andy Holbrooke/Corbis/Stock Market

Capítulo 27 inicial: Ron Peplowski/DTE Energy; Inicial inserto: Ontario Ministry of Natural Resources/Ontario Ministry of Natural Resources; 27-5a: Marty Cordano/DRK Photo; 27-6a: Jean-Paul Ferrero y Jean-Michel Labat/Auscape International Proprietary Ltd.; 27-6b: Charles V. Angelo/Photo Researchers, Inc.; 27-9b2: Breck P. Kent; 27-10a: Zig Leszczynski/Animals Animals/Earth Scenes; 27-10b: Dr. James L. Castner; 27-10c: Jeff Lepore/Photo Researchers, Inc.; 27-11b: Monica Mather and Bernard Roitberg, Simon Fraser University; 27-12a: Thomas Eisner y Daniel Aneshansley, Cornell University; 27-13a: Teresa Audesirk; 27-15a/der: Krafft-Explorer/Photo Researchers, Inc.; 27-15bL, R: © 1999 Gary Braasch; 27-l5c/izq: Raymond German/Corbis/Bettmann; 27-15c/der: Phillip Colla; 27-18a,b: Robert & Linda Mitchell Photography; 27-19L, R: Cristina Sandoval, Ph.D.; E27-2: Gilbert Grant/Photo Researchers, Inc., E27 Chuck Pratt/Bruce Coleman Inc.; E27-2b Robert & Linda Mitchell Photography; E27-2I: Carol Hughes/Bruce Coleman Inc.

Capítulo 28 inicial: JOHN GIUSTINA/Getty Images, Inc.-Taxi; 28-12: Tom Walker/Stock Boston; 28-13: William E. Ferguson; 28-14: Will McIntyre/Photo Researchers, Inc.; 28-18b: Bruce Molnia. 204/U.S. Geological Survey, Denver; 28-18T: W.O. Field, 1941/U.S. Geological Survey, Denver; E28-1: Thomas A. Schneider/SchneiderStock Photography; E28-2: ArcNet. Inc.

Capítulo 29 inicial: Don L. Boroughs; 29-2b: NASA-/Johnson Space Center; 29-6a: Teresa y Gerald Audesirk; 29-6b: Tom McHugh/Photo Researchers, Inc.; 29-10: J. Maier, Jr./The Image Works; 29-11a: W. Perry Conway/Aerie Nature Series, Inc.; 29-11b: Theo Allofs/Allofs Photography; 29-11d: Aubry Lang/Valan Photos; 29-12: James Hancock/Photo Researchers, Inc.; 29-14: William H. Mullins/Photo Researchers, Inc.; 29-15: Thierry Rannou/Getty Images, Inc.-Liaison; 29-16: Ken Lucas/Visuals Unlimited; 29-18d: Bob Gurr/Valan Photos; 29-18e: Jim Brandenburg/Minden Pictures; 29-19: Teresa y Gerald Audesirk; 29-21b: Teresa y Gerald Audesirk; 29-22a: Teresa y Gerald Audesirk; 29-22bins: EyeWire Collection/Getty Images-Photodisc; 29-29b: Teresa y Gerald Audesirk; 29-29bi: Walter Dawn/National Audubon Society/Photo Researchers, Inc.; 29-29c: Teresa y Gerald Audesirk; 29-29d: Robert R. Given, Marymount College; 29-29di: Stan Wayman/Photo Researchers, Inc.; 29-31d: Biophoto Associates/Science Source/Photo Researchers, Inc.; 29-32a: Norbert Wu/Minden Pictures; 29-32b: Peter Batson/ExploreTheAbyss.Com, Ltd.; 29-32c: Dr. Craig R. Smith; 29-32d: © The Natural History Museum, London; 29-UN1: NASA/Goddard Space Flight Center

Capítulo 30 inicial: Arthur A. Allen/Cornell Laboratory of Ornithology; 30-3a: Cortesía de Missouri Department of Transportation; 30-3b: Dave Martin/AP Wide World Photos; 30-4c: Getty Images, Inc.; 30-5a: Cortesía de Tim Davenport/WCS; 30-5b: Guido J. Parra; 30-8b: Earth Sciences & Image Analysis Lab-/NASA/Johnson Space Center; 30-9: © Bruno Locatelli; 30-10: Gerry Ellis/Minden Pictures; 30-11b: Franz Pagot/Alamy Images; 30-13a: Eric York/Grand Canyon National Park; 30-13b: (203) California State Parks; 30-16L. R.: Dr. George Naderman, Former Extension Soil Specialist (retirado). College of Agriculture and Life Sciences, NC State University, Raleigh. NC; 30-17: Paul Conklin/PhotoEdit Inc.; E30-1a,b: South Florida Water Management District; E30-2a: Cortesía de Everglades National Park, Florida. Imagen proporcionada por Visit Florida; E30-3: Dario Novellino/Still Pictures/Peter Arnold, Inc.; E30-4b: Jim Watt / PacificStock.com; E30-5b: Foto de Erie Larsen, Cortesía de Bill Ripple/OSU http://www. cof.orst.edu/wolves; E30-5c: Barry O'Neill/ Yellowstone National Park; E30-6: Reimprimida con permiso de The Rodale Institute's (R) NewFarm.org www.newfarm.org

Capítulo 31 inicial: © 20th Century Fox/Everett Collection; inicial inserto: AP Wide World Photos; 31-1a: © Jason Stone/Stone Nature Photography; 31-5: © Robert Brons/Biological Photo Service. Todos los derechos reservados; 31-6: Manfred Kage/Peter Arnold, Inc.; 31-7a: © Susumu Nishinaga/SPL/Photo Researchers, Inc.; 31-8: Yorgos Nikas/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 31-9: Manfred Kage/Peter Arnold, Inc.; 31-10: © James Cavallini/Photo Researchers, Inc.

Capítulo 32 inicial: AP Wide World Photos; inicial inserto: Dr. Shaker Mousa; 32-8a: Copyright Dennis Kunkel Microscopy, Inc.; 32-8b: Dr. Don Rubbelke; 32-11: Dr. David M. Phillips/Visuals Unlimited/Getty Images, Inc.; 32-12b: © CNRI/Photo Researchers, Inc.; 32-19: John D. Cunningham/Visuals Unlimited; 32-20: World Health Organization/Image Library, Special Programmer for Research and Training in Tropical Diseases/fotografía de Chandran

Capítulo 33 inicial: Phil Cantor/Index Stock Imagery, Inc.; 33-1a: Jeffrey L. Rotman/Jeffrey L. Rotman Photography; 33-1c: PhiI Degginger/Color-Pic, Inc.; 33-4b: Michael Davidson de Molecular Expressions; 33-6b: Hans-Rainer Duncker, University of Giessen, Germany; E33-3a: Matt Meadows/Peter Arnold, Inc.; E33-3b: © Southern Illinois University/Photo Researchers, Inc.

Capítulo 34 inicial: Bebert Bruno/SIPA Press; 34-2a: Howard Brinton/General Board of Global Ministries; 34-2c: Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.; 34-3: Tobi Zausner; 34-4a: Therisa Stack/Tom Stack & Associates, Inc.; 34-5a: © Roland Birke/Okapia/Photo Researchers; 34-14b: Roger C. Wagner; 34-17: William Thompson/Index Stock Imagery, Inc.; E34-2: Dr. E. Walker/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.

Capítulo 35: E35-2: Dan McCoy/Rainbow

Capítulo 36 inicial: © A. David Hazy/Custom Medical Stock Photo; 36-3: Eddy Gray/Photo Researchers, Inc.; 36-4: Dennis Kunkel/Phototake NYC; 36-9a: SeechiLecaque/Roussel/CNRI/Science Source/Photo Researchers, Inc.; 36-9b: CNRI/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 36-10: Dr. Andrejs Liepins/Photo Researchers, Inc.; 36-14: Baylor College of Medicine/Peter Arnold, Inc.; 36-15a,b: National Institute for Biological Standards and Control (U. K.)/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; E36-1: Corbis/Bettmann; E36-2: CNRI/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.

Capítulo 37 inicial: Jeff Minton/Jeff Minton Photography; inicial inserto: Mike Hewitt/Getty Images, Inc.; 37-7a,b: Corbis/Bettmann; 37 14: cortesía de The Jackson Laboratory, Bar Harbor, Maine

Capítulo 38: 38-16: From H. Damasio, T. Grabowski, R. Frank, A.M. Galaburda, A.R. Damasio, The Return of Phineas Gage: Clues about the brain from The skull of a famous patient. *Science*

Graham/Bruce Coleman Inc.; E38-7: Marcus E. Raichle, M.D., Washington University Medical Center; E38-8a: Reimpresión con permiso de *Nature* V2; May 201, P357; Fig 3a izq, Andrew J. Calder, *et al*, Neuropsychology of Fear and Loathing. Copyright © 201 Macmillan Magazines Limited; E38-8b: De NeuroReport Vol. II, #17, 27 Nov., 2000, Fig 3a (enmedio y derecha). Andreas Bartels & Zemi Seki, The Neural Basis of Romantic Love.

Capítulo 39 inicial: NASA/Johnson Space Center; 39-9: Photo Researchers, Inc.; 39-10b: Manfred Kage/Peter Arnold, Inc.; 39-13: Martin Specht/European Space Agency; E39-2a: Michael Klein/Peter Arnold, Inc.; E39-2b: Yoav Levy/Phototake NYC

Capítulo 40 inicial: Audobon Nature Institute, New Orleans; 40-2: Cortesía de Alexa Bely/University of Maryland; 40-4: Zorn, Maria/Animals Animals/Earth Scenes; 40-5: © Robin Chittenden/Frank Lane Picture Agency/CORBIS Todos los derechos reservados; 40-6: Roger Stene/Image Quest Marine; 40-7a: Anne et Jacques Six; 40-7b: Rudie Kuiter/SeaPics.com; 40-8: Michael Fogden/Oxford Scientific Films/Animals Animals/Earth Scenes; 40-9a: Cortesía de Marcellus Adi & Dedi Candra, YSRS/IRF; 40-9b: Cortesía de RE. Pfadt Photo, University of Wyoming, Agricultural Experiment Station; 40-20a: Photo Lennart Nilsson/Albert Bonniers Forlag; 40-20b: Francis Leroy, Biocosmos/SPL/Custom Medical Stock Photo, Inc.; 40-22: AP/Wide World Photos; E40-2: Ambassador/Corbis Sygma; E40-4: Pascal Goetgheluck/Photo Researchers, Inc.

Capítulo 41 inicial: © 2006 Tucson Citizen; Inicial inserto: © 2006 Tucson Citizen; 41-1a/izq: Image Quest 3-D/Photoshot/NHPA Limited; 41-1b/izq:Hans Pfletschinger/Peter Arnold, Inc.; 41-2a: Paul A. Zahl/Photo Researchers, Inc.; 41-2b: K.H. Switak/Photo Researchers, Inc.; 41-2c: J.A.L. Cooke/Animals Animals/Earth Scenes; 41-4: Scott W Smith/Animals Animals/Earth Scenes; 41-9b: Photo Lennart Nilsson/Albert Bonniers Forlag; 41-13: Photo Lennart Nilsson/Albert Bonniers Forlag; E41-2a: Sterling K. Clarren, M. D. Children's Hospital & Regional Medical Center, University of Washington School of Medicine; E41-2b: Cortesía de Susan Astley, University of Washington, Seattle, Washington

Capítulo 42: 42-4: Dr. Jeremy Burgess/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.; 42-5a, b, c: George Wilder/Visuals Unlimited; 42-6b: © Dr. Richard Kessel & Dr. Gene Shih/Visuals Unlimited/Getty Images, Inc.; 42-7b: Lee W. Wilcox; 42-8b: Lee W. Wilcox; 42-9arriba/der: Ed Reschke/Peter Arnold, Inc.; 42-12b: John Cunningham/Visuals Unlimited; 42-14a: Lynwood M. Chace/Photo Researchers, Inc.; 42-15arriba-/der: Ed Reschke/Peter Arnold, Inc.; 42-15abajo/der: E.R. Degginger/Animals Animals/Earth Scenes; 42-16: J. Robert Waaland, University of Washington-/Biological Photo Service; 42-17: Teresa y Gerald Audesirk; 42-19a: Biophoto Associates/Science Source/Photo Researchers, Inc.; 42-19b: R. Roncadori/Visuals Unlimited; 42-20der: Hugh Spencer/National Audubon Society/Photo Researchers, Inc.; 42-23a,b: Martin H. Zimmermann, Harvard Forest, Harvard University; 42-26a: Kenneth W. Fink/Photo Researchers, Inc.; 42-26c: Animals Animals/Earth Scenes; 42-27a: Teresa y Gerald Audesirk; 42-27c: Teresa y Gerald Audesirk: 42 27d: Kim Taylor/Bruce Coleman Inc.

Capítulo 43 inicial: Lucy Nicholson/Agence France Presse/Getty Images; 43-6: Teresa y Gerald Audesirk; 43-7a,b: Carolina Biological Supply Company/Phototake NYC; 43-8: © Dennis Kunkel Microscopy, Inc.; 43-9: Teresa y Gerald Audesirk: 43-11izq: Carolina Biological Supply Company/Phototake NYC; 43-15: Teresa y Gerald Audesirk; 43-16a,b: Thomas Eisner, Cornell University; 43-17a,b: Nuridsany et Perennou/The National Audubon Society Collection/Photo Researchers, Inc.; 43-18: Prof. Kikukatsu Ito, Iwate University, Japan; 43-19b: Oxford Scientific Films/Animals Animals/Earth Scenes; 43-20: Dr. J. A. L. Cooke/Oxford Scientific Films/Animals Animals/Earth Scenes; 43-21b: Michael Fogden/DRK Photo; 43-22a: Teresa y Gerald Audesirk; 43-23: Teresa y Gerald Audesirk; 43-24: Scott Camazine/Photo Researchers, Inc.; 43-25: Michael y Patricia Fogden; 43-26: Mare Gibernau (CNRS - France); 43-27izq,der: Marc Gibernau (CNRS - France). De: Science News. Vol. 164, No. 24, diciembre, 13, 203, p. 379; E43-1: John Kaprielian/Photo Researchers, Inc.

Capítulo 44 inicial: David T. Webb, Botany, University of Hawaii; 44-4c: Lee W. Wilcox; 44-4e: Malcolm B. Wilkins; 44-4d: Lee W. Wilcox; 44-6: © Bary L. Runk-/Grant Heilman Photography, Inc.; 44-12a: Abbott; 44-12b: Cortesía del profesor Adel A. Kader, University of California at Davis; 44-13: John Cancalosi/DRK Photo; 44-14: Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc.; 44-16a,b: David Sieren/Visuals Unlimited; 44-17: Carolina Biological/Visuals Unlimited; 44-17ins: Wayne P. Armstrong, Palomar College; 44-18: Barry Runk/Stan Schoenberger/Grant Heilman Photography, Inc.

Índice

Abdomen (insectos), 457
Abejas, 497, 504-5
  comportamiento social de las, 459, 497, 504-5
  luz ultravioleta y, 900, 901
  obreras, 504-5
  panorama de las, 458, 459, 545
  picaduras de, 458, 545
  polinización por medio de las, 16, 900, 901
  productoras de miel, 497, 504-5
  regulación de la temperatura corporal en las, 636, 637
  reproducción de las, 816
Abomaso, 694
Aborto, 268, 270, 832
Absorción de nutrimentos, 700
Abulones, 320
Acacias, 549, 590
Academia Nacional de Ciencias, 269-270
Ácaros, 459
Accidentes cerebrovasculares, 654
Accutane, 852
Aceites, 44-46
Acelomados, 444
Acetil CoA, 139, 140, 141, 142
Acetilcolina, 764, 773, 802
Acetilcolinesterasa, 112
Ácido(s)
  abscísico, 910, 911, 920
  cítrico, ciclo del (ciclo de Krebs), 139-40, 141, 142
  clorhídrico (estómago), 698
  desoxirribunucleico. *Véase* DNA
  fólico, 690, 691
  gamma-aminobutírico (GABA), 769
  grasos, 44, 45-46, 688
    esenciales, 686
    insaturado, 45
    saturado, 45-46
  nucleicos, 40, 53-54. *Véase también tipos específicos*
  ribonucleico. *Véase* RNA
  salicílico, 920-21
  soluciones ácidas, 31
  úrico, 709, 710
  valproico, 852
Acrosoma, 821, 822
ACTH (hormona adrenocorticotrópica), 749, 756
Actina, 800
Actividades de "lucha o huida", 771
Acuaporinas, 88, 89, 715
Adams, Richard, 203
Adaptaciones, 10, 306-7
Adenina (A), 154, 155, 156-57, 172
Adenosina deaminasa, 265
ADH (hormona antidiurética), 712, 715, 745-46, 750
ADP (difosfato de adenosina), 92, 106-7
Adrenalina (epinefrina), 657, 744, 753
Áfidos, 459, 816, 817, 879
Aflatoxinas, 434
África
  ecoturismo, 614
  especie *Homo*, 350, 351, 352, 367
Agar, 398-99
Agencia(s)
  Antidoping de Estados Unidos, 741
  de Fármacos y Alimentos de EU (FDA, Food and Drug Administration)
    contaminación por mercurio, 566
    Ephedra, 413
    OGM, 269
    THG, 741
    uso de sanguijuelas/gusanos, 453, 454
  de Protección Ambiental de Estados Unidos, 754
  Mundial Antidopaje, 804
Agre, Peter, 89
Agresión, 497-98, 500
Agricultura
  calentamiento global y, 575
  efectos de los fertilizantes, 569, 570, 571, 600
  efectos en el ecosistema acuático, 600, 602, 604, 605
  en las selvas tropicales lluviosas, 589-90, 619, 629
  ingeniería genética y, 258-61, 266-70
  orgánica, 627
  sustentable, 627, 628, 629
Agrobacterium tumefaciens, 260
Agua. *Véase también* puentes de Hidrógeno; Precipitación pluvial
  adhesión del, 30-31
  agotamiento de, 529, 570-71, 627-28
  ciclo hidrológico y el, 570
  cohesión del, 30-31, 877
  colonización y, 340-41, 342-43
  contaminación del, 570
    y anfibios, 476, 477
  conservación del, 570-71
    para humanos, 570-71
    en plantas, 127-29, 865-66, 877-78
  demasiada, para beber, 717
  distribución de la vida en el, 598-607
  homeostasis y, 636
  hielo como propiedad del, 20, 21, 32-33
  importancia del, para la vida, 28-33, 335, 585, 691
  origen de la vida y el, 335, 337
  patinador de, 496
  propiedades del, 20, 21, 28-33
  pulga de, 11, 14, 461
  tensión superficial del, 20, 21, 30, 33
  transporte de, en angiospermas, 864, 867, 869, 874, 876-78
  vapor de
    condiciones prebióticas en la tierra y, 332
    gases de invernadero y, 582
Aguacate, árboles de, 392
Águila
  calva, 566, 571
  dorada, 515, 516
Agujero del Diablo (pez cachorrito), 324, 325
Aislamiento
  comportamiento de, 319
  ecológico, 318, 554
  geográfico, 317-18
  reproductivo
    concepto de especie y, 316
    conservación del, 317-20
    definición de, 316
    temporal, 318-19
Alam, Hasan, 646
Álamos
  en Yellowstone, 624
  reproducción asexual en los, 192, 193
Alantoides, 840
Alargamiento (transcripción), 172, 173
Albinismo, 168, 238-39
Albúmina, 48, 183, 658
Albura, 869
Alcaloides, 546
Alce, 624
Alcohol. *Véase también* Fermentación alcohólica
  adicción al, 769, 781
  deshidratación y, 717
  deshidrogenasa, 111
  desintoxicación, 698
  efectos sobre la salud del, 699, 737, 810
  levaduras y, 138, 139, 435
  síndrome de alcoholismo fetal (SAF), 836, 837, 852-53, 854
Aldosterona, 754-55
Alelos. *Véase también* Alelos dominantes; Alelos recesivos; Deriva genética
  cambio en la frecuencia de los, 297
  definición/descripción de, 207, 222, 296
  dominantes
    anomalías genéticas y, 239-40
    árbol genealógico y, 237
    definición/descripción de, 224, 296
    dominancia incompleta de, 233
    en estudios de Mendel, 224-28
  flujo de genes y frecuencia de los, 300
  múltiples, 233, 235
  mutaciones, 207, 233, 298-99
  recesivos
    anomalías genéticas y, 238-39
    árbol genealógico y, 237
    definición de, 224, 296
    estudios de Mendel y, 224-28
  relación con genes/cromosomas, 222
  variabilidad genética, 207, 211
Alergias
  organismos genéticamente modificados (OGM) y, 268
  panorama de las, 733-34
  polen y, 733-34, 890
Alexis, zar de Rusia, 241
Alga(s), *Véase también* Arrecifes de coral; Líquenes
  Chlorella, 339
  ciclo haploide de vida de las, 215
  definición/descripción, 389
  marina, 386, 387, 393, 400, 603
  pardas, 340, 393
  primeras algas multicelulares, 340
  rojas, 340, 388, 398-99
  verde (*Ulva*), 399
    Caulerpe taxifolia, 386, 387, 400
    cloroplastos en plantas, 340
    evolución de las plantas, 340, 389, 399, 405, 406
    líquenes, 430-31
    panorama general, 388, 399
Alianza de las Selvas tropicales, 629
Alimentación
  alimentos y
    que contienen antibióticos y, 311
    sintéticos y, 41
  consejos de seguridad de la, 378, 379
  cultivos para la, 614
  dietas altas en grasas y, 649
  ecosistemas y, 614
  enfermedades por la, 378, 379
  plantas como proveedores de la, 404-5, 416
  prevenir la descomposición de la, 112-13
  revolución agrícola y la, 353
  saludable, 29
Allomyces, 426
Allosaurus, 280
Alloway, J. L., 151
Almejas, 456

Almidón
estructura del, 42
plástidos y, 74-75
visión general del, 42-43, 688
Alternancia de generaciones, 213, 215-16, 404, 412, 888-89
Altitud y clima, 584, 585
Altruismo, 502-3
Aluvión, 600
Álvarez, Luis/Walter, 346
Alveolados, 388, 393-95
Alveolos
capilares y, 676, 677
efectos del tabaquismo en los, 678
función/estructura de los, 675-77
Amanita (especie)/toxinas, 436
Amazonas, selva tropical del, 590, 878
Ambiente
efectos en el
el color de la piel (humana), 235, 236, 237
genes y, 237, 296, 494
los fenotipos, 235, 236, 237
los OGM, 269-270
Ambrosía, 890
Amebozoos, 388, 397-98
Amibas lobosas, 388, 397
Amígdala, 776, 792
Amilasa, 109, 112, 695
Aminoácidos. *Véase también* Código genético
cambios/efectos de los, 47, 51
definición/descripción, 47-49, 169, 688
esenciales, 688
universalidad de los, 288
Amniocentesis, 268-69
Amnios, 478, 840
Amniota/huevo amniótico, 478, 840
Amoeba/amibas
deriva genética/ejemplo de tamaño de la población, 302
descripción, 388, 397
división celular de las, 195, 302
fagocitosis y, 94
Amoniaco, 709-10
Amonites, 340, 341
Amorphophallus titanium ("flor cadáver"), 886
Amortiguadores y pH, 32
Amplexus, 818
Amplificación biológica (bioacumulación), 565-66, 572
Anaerobios, 375
Anafase (mitosis), 199, 200
I (meiosis), 210, 213
II (meiosis) 211, 213
Anatomía
clasificación de los organismos y, 359
como evidencia de la evolución, 282, 283-86
Anderson, Marvin, 271
Andersson, Malte, 4, 6-7
Andrógenos, 753
Anélidos (Annelida), 444, 445, 447, 451-53, 816
malaria y, 239, 310, 547
mutaciones y, 179, 180, 239, 262
Anemia
de células falciformes
descripción de, 239, 262, 310
diagnóstico de la, 262, 263, 268, 269, 270
de Fanconi, 271
falla renal y, 715-16
veneno y, 97
Anémonas de mar, 447, 448, 449, 491, 548
Anencefalia, 268
Anfibios
corazón de los, 651
evolución de los, 342-43
extinción/deformidades de los, 426, 476-77
metamorfosis de los, 475, 476, 477, 672, 673, 694, 743, 751, 756, 757, 842
panorama de los, 475-77
respiración de los, 672, 673
Anfioxos, 471-472
Angina de pecho, 654, 666
Angioplastia, 654, 655
Angiospermas (plantas con flores). *Véase también* Flores; Frutos
adaptaciones, 416, 880-82
ciclo de vida de las, 418, 891
crecimiento de las, 862
ejemplos de, 417
evolución, 342, 406-7
nutrimentos minerales y, 869, 872, 873-76
organización del cuerpo de las, 860-62
panorama de las, 407, 410, 416-19
tejidos/células, tipos de, en las, 862-65
transporte de agua y azúcares en las, 864-65, 867, 869, 874, 876-78, 879-80
Angiotensina, 715, 755
Anguilas, 474, 791
Anhidrasa carbónica, 678
Anillo(s)
anuales, 869
de hada, 430, 431
Animación suspendida, 634-35, 646
Animales. *Véase también* Biomas; Historia de la vida; *animales específicos*; *grupos específicos*
adaptaciones a los desiertos, 593
árbol evolutivo, 364, 442
búsqueda de pareja entre los, 501-2, 503, 504
características anatómicas/evolución de los, 442-45
características clave de los, 442
colonización del medio terrestre por los, 342-44
competencia por los recursos entre los, 497-500
comunicación entre los, 495-97
con motilidad, 444
con púas que se alimentan de hormigas, 198, 200
diversidad temprana, 340, 341
juego entre los, 508-9
organización corporal (panorama), 639-45
rumiantes, 693-94, 701
sésiles, 444
sociabilidad entre los, 502-6, 508-9
temperatura corporal/regulación, 11-12,13, 96-97, 344, 479, 636-39
vida en grupo, 502, 504-6
Anís estrella, vainas de las semillas del, 612
Anomalías genéticas. *Véase también trastornos específicos*
alcoholismo y, 781
biotecnología/diagnóstico de las, 262-64
errores en el número de cromosomas y, 240-44
genes individuales/herencia y, 238-40
investigaciones de, 237-38
ligadas a los cromosomas sexuales, 240
parentesco en la pareja y, 238
sistema circulatorio y, 649, 654, 666
uso de tecnología de clonación y, 270
Anorexia nerviosa/efectos de la, 684, 685, 702-3
ANP (Péptido auricular natriurético), 755
Anquilosoma, 462
Antártida
agujero de ozono sobre la, 586
ecoturismo en la, 614
efectos del calentamiento global en la, 576
Antera, 416, 418, 892
Anteridios, 408
Antibacteriales, jabones/limpiadores, 311
Antibióticos
definición/descripción, 8, 178, 733
en el ambiente, 311
fibrosis quística, 234
hongos y, 434
síntesis de proteína y, 178
Anticodones de RNAt, 170, 171, 176, 177, 178
Anticonceptivos
para hombres, 832
panorama de los, 829-31
Anticuerpos
acción de los, 726-27
constitución de los, a partir de fragmentos, 728
definición/descripción, 71, 726
estructura de los, 726-27
producción de, 71-72, 261, 726, 732
recombinación y, 728
Antígenos, 726
Antioxidantes, 28, 29, 690
Antocerotas, 407-408
Antocianina, 859, 883
Ántrax, 371, 374, 732
Aorta, 652
Aparato de Golgi, 70, 71-72, 201
Apareamiento, 304
selectivo, 304
Apéndice, 292
Apicomplexos (esporozoarios), 388, 394-95
"Aplicaciones fungicidas", 433-34
Apoptosis, 206, 208
Aprendizaje
categorías de, 491-492
definición/descripción de, 490-491
motor de, 775
por discernimiento, 492
por ensayo y error, 491-92
restricciones innatas, 493-494
Aquifex, 373
Arácnidos, 459-60
Araña(s)
ermitaña café, 80, 81, 97, 98
exoesqueleto y la, 457
mimetismo de, 544, 546
saltadora, 544, 546
seda de, y animales genéticamente modificados 261, 460
visión general de las, 459-60
Árbol(es)
baobab, 590
genealógicos, 237-238
hemofilia en las familias reales de Europa, 241
General Sherman, 423
más grande del mundo, 423
Arbustos de chamizo, 554
Archaea. *Véase también* Procariotas
bacterias versus, 372
células típicas en el dominio, 62
flagelos de los, 373
panorama del dominio, 14-15, 361
Archaeopteryx, 479
Architeuthis (calamar gigante), 440, 441, 456, 464-65
Arcilla y evolución prebiótica, 333
Ardilla(s), 318
de Abert, 318
de Kaibab, 318
Ardipithecus ramidus, 347, 348
Área(s)
críticas mínimas (reservas núcleo), 623
de asociación motriz (en la corteza cerebral), 777, 781
de transición, 626
superficial
e intercambio de gases, 670, 677

en las hojas de plantas, 127
glóbulos rojos y, 658-659
microvellosidades y, 95
organismos multicelulares y, 339
pérdida de calor y, 344
relaciones de, y volumen, 95
Argón, 338
Aristóteles, 278, 281
Armas biológicas, 370, 371, 378, 381, 384, 732
Armillaria
gallica, 437
ostoyae (hongo color miel), 422, 423, 430, 437
Armstrong, Lance, 13
Arquegonios, 408
Arrayán rosa, 12
Arrecifes de coral. *Véase también* Corales
biodiversidad de los, 603-4
daños en los, 575, 604, 619
ecoturismo y, 614
formación de los, 398, 399, 449, 603
hábitat de, 394, 449
panorama, 603-4
platelmintos y, 450
protección de los, 604
Arroz, 2, 267, dorado, 267
Arteria(s)
coronarias, 648, 649
funciones de las, 652, 661
obstrucciones en las, 654
renal, 710
Arteriolas, 644, 661, 662-63
Arthrobotrys, 437
Ártico y calentamiento global, 576
Articulación(es), 808-809
del codo, 809
multiaxial, 809
Artritis, 734,
reumatoide, 735
Artrópodos
colonización del medio terrestre por los, 342
descripción/rasgos de los, 444, 445, 447, 453, 456-58
intercambio de gases en los, 457, 672, 673
número de especies, 456
panorama de los, 456-62
sistema circulatorio de los, 650
visión de los, 785
Arum (familia de plantas), 887, 904-5
Asa de Henle, 711-717
Ascidias o jeringas de mar, 471, 472
Ascomicetos (hongos de saco), 426, 428, 429, 431, 433, 434, 435, 436
Asma, 676, 678, 753
Asociación
Dermatológica de Estados Unidos, 191
Estadounidense de Cardiología, 654
Nacional Oceánica y Atmosférica, 586
Nacional de Trastornos Alimentarios, 685
Neumológica de Estados Unidos, 669, 680
Aspartame, 41
Aspergillus, 434
Aspirina y embarazo, 852
Ataque al corazón, 648, 649, 654, 655, 666, 685
Aterosclerosis
causas de la, 649, 654, 678-79, 690
descripción de la, 649, 654, 666
tratamiento de la, 654- 55
Atkinson, Angus, 576
Atletas. *Véase también* Corredores
doping, 132, 133, 137, 143, 145, 804
músculos esqueléticos y, 803
uso de esteroides por parte de los, 740, 741, 757
Átomo
definición/descripción de, 2, 22-23
de sodio, 25
formación de moléculas a partir de, 23-28
inertes, 23
reactivo, 24
ATP
estructura/síntesis, 105-7
funciones del, 54, 105-7, 134
mitocondrias y, 73-74
músculos y, 801, 802-3
quimiósmosis, 123, 124
reacciones dependientes de la luz y, 122-23, 124, 125
respiración celular y, 74, 134, 136, 137, 138, 140, 141-42, 143
síntesis
de proteínas y, 180
/descomposición del, 106-7
transporte activo y, 92
universalidad del, 288
Atracción sexual
encontrar pareja y, 501-2, 503, 504
olor y, 509-10
simetría y, 488, 489, 509-10
Atrazine, 476, 754
Atún, 475, 620, 636
Aurículas, 651
Australopithecus, 347, 348
afarensis, 348
africanus, 348
anamensis, 348, 349
boisei, 348
fósiles del, 349
robustus, 348
Autopolinización
para plantas, 223, 326
poliploidía y, 326
Autosomas
definición/descripción, 197, 231
efectos de la no disyunción, 243-44
Autótrofos. *Véase también* Productores
definición/descripción, 13, 118, 561
Auxinas
descubrimiento/identificación de las, 912-13
funciones de las, 910, 913-14, 915-16, 918-19
Ave(s). *Véase también aves específicas*
adaptaciones al vuelo, 344, 479
camuflaje, 542
cerebro del ganso, 775
clasificación como reptiles, 477-78, 479-80
como especies invasoras, 541
conservación de la temperatura corporal de las, 479, 688
corazón de las, 651
del paraíso, 319
disminución de las poblaciones de, 629
diversidad de las, 479
estudio del comportamiento de las, 493-95
evolución de las, 344, 477-79
y uso de las plumas, 344
migración de las, 494-95
panorama de las, 477-79
que no vuelan, 276, 277, 322, 479
sistema
digestivo de las, 694-95
respiratorio de las, 675
territorialidad de las, 500, 501
Avery, Oswald, 151
Avestruces, 276-278, 479
Avispa(s), 318, 458, 519, 902,
de mar (*Chironex fleckeri*), 448, 449
Axones
función/estructura de los, 643, 762, 763, 764
mielina y, 763
Azúcar(es)
definición, 39-44
fuente de, 879, 880
síntesis de grasas a partir de, 144
transporte en angiospermas y, 864-65, 879-80
Azufre
emisión de, 571-72
Ley del Aire Limpio (U.S./1990), 572
sedimentación ácida, 571-72
Azulejos (género *Sialia*), 358, 359

Babosas, 454, 455
Babuinos, 497, 498
Bacalao/pesca, 475, 529, 605
Bacillus
anthracis, 371
thuringiensis, 259
Bacteria(s). *Véase también* Resistencia a los antibióticos; Procariotas
anaeróbicas/origen de la vida, 335, 337, 606
antibióticos y, 178
inactivados por, 76
aprovechamiento de alimentos y, 112-13
biopelículas/efectos de las, 373-74
características de adherencia de las, 75-76
"carnívora" (*Streptococcus pyrogens*), 379, 722
clasificación de las, 372, 373
como descomponedores, 564
conjugación en las, 376
cultivos de, 5, 8
del azufre, 337, 400, 606-7
desnitrificantes, 569
diversidad de las, 366
dominio Archaea versus, 372
dragones de Komodo y, 478
ejemplo de crecimiento exponencial, 515, 516
en el tracto digestivo humano, 376, 379, 701
en manantiales calientes/chimeneas hidrotermales, 171, 256, 374, 375, 606-7
enfermedades causadas por, 75-76, 178, 252-53, 260, 261, 377-78, 699, 828
esporas/endosporas de las, 374, 377
fijadoras de nitrógeno, 376-77, 548, 568-69, 875, 882, 909
flagelos de las, 373
formas de las, 372
fotosintetizadoras, 337, 375, 400
gen *Bt*, 259-61
hipótesis de la endosimbiosis, 73, 337-38, 339
inocuas, 379
intercambio de información genética en las, 76
organismos genéticamente modificados y, 259-61
panorama del dominio de las, 14-15, 361
patógenas, 377
plásmidos, 76, 252-53, 259-61
producción de alimentos y, 138, 139, 376
proteínas terapéuticas y, 264-65
resistencia a los medicamentos, 10, 178, 253, 295, 299, 305, 310, 311
tipos de células en las, 62
transformación en las, 150-51, 252-53
úlceras y, 699
Bacteriófago, 152-53, 380, 381
Baer, Karl von, 286
Bagenholm, Anna, 635, 636, 646
Balanus (percebes), 540
Ballena(s)
asesinas, 550-51
azul, 423
comunidades en las profundidades del océano,606
estructuras vestigiales de las, 284-85
evolución de las, 284, 285
jorobada, 482, 496, 605

Banda de Caspari, 872-73, 874
Bardana menor, fruto de la, 903-4, 917
Barnum, P. T. 749
Barr, Murray, 185
Barrera hematoencefálica, 773
Base/solución alcalina, 31
Base
  (nuclóetidos). *Véase también bases específicas*
  de datos CODIS, 258
  estructura de las, 53, 154
  secuencia/duplicación DNA, 157-58
Basidiomicetos (hongos de clava), 429, 429-30, 433, 435, 436
Basidios, 429, 430
Basidiosporas, 429, 430
Basófilos, 657, 659
Bastones (ojo), 786, 787, 788
Bazo, 663, 665
Beadle, George, 168, 169
Beagle, 282, 283
  el barco de Su Majestad, 282
Bernard, Claude, 636
Beta-caroteno, 121, 267
Beta-talasemia, 179, 180
Beyer, Peter, 267
Bicapa fosfolipídica (membrana plásmica). *Véase también* Fosfolípidos; Membrana plásmica
  ácidos grasos saturados/insaturados, 83, 97
  estructura de la, 59, 82-83
  flexiones/fluidez de la membrana, 83, 97
  funciones de la, 59-60, 82-84
Bicarbonato, 32
Bichos espina, 542
Bifosfato
  de fructosa, 135, 136
  de ribulosa (RuBP), 125, 126, 127
Bilis, 698
Bioacumulación (amplificación biológica), 565-66, 572
Biocapacidad, 617-18, 619
Biocombustibles, 529, 589-90
Biodiversidad
  amenazas a la, 12, 617-20, 622
  arrecifes de coral y, 603-4
  definición/descripción, 10, 12, 366, 588, 612
  destrucción del hábitat y, 618, 619-20
  exploración de nuevas tierras y, 279, 282
  importancia de la, 12, 612-15
  pérdida de la, 615-17
  preservación de la, 623-25
  selvas lluviosas tropicales y, 588, 589, 590
  servicios del ecosistema, 612-15, 616-17
  sustentabilidad y, 625-28, 629
Biología
  de la conservación
    como ciencia integrada, 623
    definición/descripción, 612
    objetivos de la, 623
    preservación de la biodiversidad, 623-25
  importancia de la, 15-16
Bioluminiscencia, 394
Biomas. *Véase también biomas específicos*
  definición/descripción, 554, 587
  mapa de distribución de los, 587
  tipos de, 587-98
Biomasa, 561, 565
Biorremediación, 377
Biosfera, 514
Bio-Steel, 261
Biotecnología. *Véase también* Ciencia forense; Organismos genéticamente modificados (OGM); Genoma humano; DNA recombinante
  aplicaciones "útiles"/"triviales", 266
  bioingeniería de partes del cuerpo humano, 56, 57, 77, 714
  definición/descripción del, 252
  ética de la, 265-66, 268-71
  medicina y, 262-65, 661
  panorama de la, 252
  reproducción natural versus, 266
  seda y, 261, 460
  usos de proteína fluorescente, 266
Bipedalismo, 854
Bisonte, 594, 595, 624
Bivalvos, 454, 455
Blastocisto, 845, 848-49
Blastoporo, 841
Blaustein, Andrew, 476-77
Boca (sistema digestivo), 692
Bocio, 751, 752
Bolcheviques, 241
Bombillas fluorescentes, 577
Bonobos y comercio de carne, 618
Borneo y DDT, 566
Borregos (carnero)
  cimarrón, 499
  competencia entre los, 307, 499
Borrelia, 372
  burgdorferi, 378
Bosque(s). *Véase también* Deforestación; *biomas forestales específicos*; Incendios fuera de control
  caducifolios de clima templado, 595-96
  conservación de, 581, 590, 607
  de clima templado lluvioso, 596
    del río Hoh, 596
  efectos de la lluvia ácida, 572
  neblinoso de Monteverde, 476, 878
  septentrional de coníferas (taiga), 596-598
  tropicales caducifolios, 590
Botulismo (envenenamiento de los alimentos), 374, 378
Boysen-Jensen, Peter, 912-13
Branquias
  artrópodos, 457
  intercambio de gases, 672, 674
  moluscos, 453, 455, 456, 672
Briggs, Robert, 842
Briofitas. *Véase también tipos específicos*
  panorama de las, 407-10
British Antarctic Survey, 576
Brock, Thomas, 256, 271
Bronquiolos, 675, 676
Bronquios, 675, 676
Bronquitis, 678
Bucardo, 815, 833
Buche (aves), 694, 695
Buffon, Conde de (Georges Louis LeClerc), 278, 279
Búhos
  cornudos, 597
  de Sokoke (autillo), 581
  nival, 523
  visión binocular, 788
Bulimia nerviosa, efectos de la, 685, 702
Burt, Kay/Cherry, 707, 712, 717
Burton, Mary Jane, 251, 271
Bush, Guy, 324
Byers, John, 509

Caballito de mar, 474, 818, 839
"Caballo muerto" (flor atrapamoscas), 887, 904, 905
Cabeza (insectos), 457
Cacahuates y aflatoxinas, 434
Cacao, árboles de, 591
Cacatúa de Carolina, 522
Cactus, 523, 542, 585, 592, 593, 881-82
Cadena(s)
  alimentarias
    Antártica/calentamiento global y, 576
    definición/descripción, 562
    sustancias tóxicas, 565-66
  en el molde del DNA, 172, 173
  transportadora de electrones (ETC)
    en la fotosíntesis, 121-22
    en la respiración celular, 134, 140-41, 142
Caenorhabditis elegans (nematodo), 183
Café cultivado a la sombra, 629
Cafeína, 699
Caimanes, 477, 754
Calamar, 456, 606
  gigante (*Architeuthis*), 440, 441, 456, 464-65
Calcio
  huesos y, 752, 806, 808, 810
  modelo atómico del, 23
  músculos y, 802-3
  regulación de los niveles en la sangre, 752
Calcita (carbonato de calcio), 396, 447, 568
Calcitonina, 174, 750, 808
Cálculos renales, 810
Calentamiento global
  arrecifes de coral y, 575, 604, 619
  biodiversidad y, 622
  combustibles fósiles, 568, 571, 572-73, 622
  consecuencias (panorama general) del, 574-75, 576
  definición del, 573
  deforestación y el, 568, 573, 589, 614, 622
  El Niño y el, 585
  estados y ciudades de EU y el, 576
  extinción y, 622, 820
  hacer una diferencia, 577
  hielo en el Ártico/Antártico, 574, 576
  interferencia en el ciclo del carbono, 572-74
  panorama general del, 572-77, 622, 815
  predicciones del, 573-74, 574-75
  respuesta humana ante el, 575-77
  temporada de crecimiento y el, 575
Callum Ranking del Fondo Mundial para la Vida Silvestre, 620
Calor
  como energía, 102
  como subproducto del metabolismo, 106, 564, 565
  de fusión, 32
  de la Tierra primitiva, 333, 335
  desarrollo del sistema aislante en los animales, 344
  de vaporización, 32, 33
  efectos de las enzimas, 112
  específico, 32, 33
  tamaño de los animales y, 344
Calorías, 32, 686
Calostro, 852
Cambio
  climático (en el pasado), 345-46, 615
  del hábitat/destrucción
    anfibios, 476, 477, 818
    efectos del, 12, 476, 477, 482-83, 618, 622
    especies en peligro de extinción, 308, 413, 419, 619, 832-33
    extinción, 12, 322, 324-25, 326, 482-83, 622
    ritmo de, 326
Cambium, 862
  suberoso, 862, 868, 869-70
  vascular, 868
cAMP cíclico, 53, 744
Campo magnético
  de la Tierra, 559
  detección del, 791
Campylobacter, 378
Camuflaje
  definición/ejemplos, 542, 543
  especiación, 554

Canal auditivo, 782, 783, 784
Cáncer(es). *Véase también* Tabaquismo
  cervical, 828
  de órganos linfáticos, 12
  de piel, 10, 190,191, 217, 586
  definición/descripción, 736-37
  división celular y, 195, 205, 208-9
  genes supresores de tumores, 208, 217
  medicamentos anticancerígenos, 111-12, 447, 613
  mutaciones y, 10, 208-9, 217
  prevención del, 737
  pulmonar, 10
  punto de control G_1 a S, 206
  radicales libres y, 27
  rayos ultravioleta y, 10, 190, 191, 217, 586
  sistema inmunitario y, 730, 737
  tratamientos/efectos del, 209, 737
  virus y, 381, 383
Candida albicans, 434
Canibalismo, 532
Cánidos, 363
Cangrejo(s)
  ermitaño, 461
  violinista, 498
  Emerita, 603
  herradura (*Limulus*), 722-723
Canguros, 481
Cannon, Walter B., 636
Capa(s)
  de abscisión, 919-20
  de electrones, 22-23
  germinales, 443
  legamosas (bacteria), 75, 76
Capacidad de carga (K)
  crecimiento de la población humana, 528-29, 618, 619
  definición/descripción, 518, 520, 521, 523, 528-29
  efectos de exceder la, 518, 520, 521, 523, 528-29
Capibara, 481
Capilares
  linfáticos, 664
  sanguíneos
    función/estructura de los, 651, 661-62, 672, 677-78
    histamina y, 724, 725
    huesos y, 807, 808
    neuronas y, 710-12
    regulación de la sangre en los, 663
    respiración y, 676, 677
Cápsula
  de bacterias, 75, 76
  de Bowman, 711, 712, 713
Caquexia crónica, 54
Caracol(es)
  características del, 359
  comunicación sexual entre los, 497
  contaminantes como perturbadores endocrinos y los, 746
  control biológico de los, 541
  desarrollo indirecto en el, 838, 839
  descripción de los, 454, 455
  mecanismo de incompatibilidad gamética, 319
  variación de la población de, 288
Carbohidratos, 39-44, 688
Carbón
  contaminación por mercurio en plantas de, 566
  orígenes del, 341, 405, 410, 568, 572
Carbonato de calcio (calcita), 396, 447, 568
Carbono 14, 338
Carbono
  ciclo del, 567-68
  fijación del, 126
  importancia biológica del, 38, 567
  modelo atómico del, 23
Carcinógenos
  genes *p53*/*Rb*, 208
  panorama de los, 737
  tabaquismo y, 678
Carcinoma de las células
  basales, 217
  espinales, 217
Caribú, 96-97, 597, 598
Caries dentales, 261, 374
Cariotipo, 197, 243
"Carne de gallina", 644
Carnívoros. *Véase también* Depredadores/depredación
  de África, 591, 592
  definición/descripción, 562, 564, 693, 695
Carotenoides, 120, 121, 859, 883
Carpelo, 892
Cartílago
  función/estructura del, 471, 641, 806, 807, 808, 809
  tejido conectivo y, 641
Caseína, 48
Castores, 717
Catalizadores, 108
Cataratas, 586
Catastrofismo, 280
Catlin, Don, 740, 741, 757
Caulerpa taxifolia, 386, 387, 400
Causalidad natural, 3
Cavidad(es)
  del cuerpo, 444
  gastrovascular, 448-49, 693
Cdk (quinasas dependientes de ciclinas), 204-6, 208, 217
Cebras, 591
Cefalización, 444, 770
Cefalópodos, 456
Ceguera
  al color, 240, 788
  vitamina A y, 267
Celacantos (Actinista), 468, 469, 475, 484
Celoma verdadero, 444, 452
Celomados, 444
Célula(s)
  acompañantes, 865
  ameboides de las esponjas, 446, 447
  animales (en general), 60, 62
  asesinas naturales, 724, 726, 737
  B, 726, 728, 729, 731, 733, 734
  B de la memoria, 726, 729-731, 734
  blanco (hormonas), 743-44, 745
  caliciformes, 640, 641
  características comunes de las, 59-62
  conexiones/comunicaciones entre, 95-96, 742
  definición/descripción de, 2, 3, 639, 640
  de islote, 743, 752, 756
  descubrimiento de las, 59, 64-65
  de Sertoli, 821, 822
  de tubo, 892, 893
  diferenciadas (plantas), 862
  diploides
    definición/descripción de, 197, 207
    importancia de, 207
    meiosis, 207-9
    números en varios organismos, 199
  DNA/RNA, 61-62
  en collar de las esponjas, 446, 447, 692, 693
  epiteliales (esponjas), 446
  eucarióticas. *Véase también* Organización de los cromosomas en las células, 195-99
    características de, 63, 66-75
    células procarióticas *vs*, 63, 75, 76
    ciclo de, 194-95
  definición/descripción de, 14, 15, 62-63, 337
  DNA en, 174, 175
  energía (generalidades), 74
  estructuras/resumen de funciones, 62
  evolución de, 207, 337
  flujo de información (panorama general), 182
  intercambio selectivo de materiales, 68
  regulación de los genes en, 182-86
  síntesis del RNA mensajero en, 174-76
  sistema de membranas/interconexión, 70-72
  traducción en, 175, 176-78
  flamígeras, 708
  ganglionarias, 787
  generadora, 892, 893, 894
  gliales, funciones, 643
  hijas
    definición/descripción, 157, 192, 193, 194, 195
    duplicación del DNA, 157, 193
    en el ciclo celular procariótico, 193
  intersticiales, 821
  madre
    adultas (ASC), 843
    aplicaciones médicas y, 265, 843
    cultivo de, de un blastocisto, 843
    descripción de, 195, 265, 842, 843
    división celular mitótica y, 195
    embrionarias (ESC), 843
    visión general de, 843
  meristemáticas, 862, 867-868
  nerviosas. *Véase* Neuronas (células nerviosas)
  neurosecretoras, 748-750
  oclusivas (células guarda), 866, 877, 878
  pilosas (oído), 783, 784
  suberosas, 862
  T, 726, 727, 730, 734, 737, 755
    auxiliares, 726, 729-731, 736-737
    citotóxicas, 726, 729, 730, 737
    de la memoria, 726, 730-731, 734
  tamaño/forma e intercambio de materiales, 58, 59, 94-95
  vegetales (en general), 61
Celulasa, 694
Celulosa, 43, 126, 688, 701
Centríolos, 67, 198, 200, 338, 339
Centrómero, 196-97
Centro(s)
  Nacional para la Investigación Atmosférica, 575
  para el Control de Enfermedades, 311, 378, 669, 687, 757
  respiratorio, 680
  Smithsoniano de Aves Migratorias, 629
Cera, 45, 46
Cercozoos, 388, 395-96
Cerebelo, 775, 776
Cerebro (humano). *Véase también* Sistema nervioso central; *componentes específicos*
  áreas del lenguaje, 780
  con el cuerpo calloso cercenado, 778
  daños en el, y sus efectos, 777, 778, 781
  emociones y, 779, 780, 781
  equilibrio y, 774
  especialización de los hemisferios cerebrales, 778, 779
  estructura del, 775, 776, 777
  excitación sexual y, 776
  funciones del, 771, 774-77
  importancia/efectos del, 482
  partes del, 774-75
  parto y, 854
  producción de la mente, 778-79, 781

protección del, 773
sistema nervioso central y, 770
tamaño del, y evolución humana, 347, 350, 351-53, 480
técnicas para generar imágenes del, 780
Cerveza y levadura, 435
Cérvix, 823, 825
CFC (clorofluorocarbonos), 586
Chaleco blindado, 261
Chaparral, 593-94
Chargaff, Edwin, 154
Chase, Martha, 151, 152-53
Chimeneas hidrotermales, 606, 607
Chimpancé(s)
aprendizaje por discernimiento en los, 492
cacería/tamaño del cerebro, 351-53
clasificación de los, 358
comercio de carne de, 618
comparación con cromosomas humanos, 360
jerarquías de dominancia, 499
VIH y, 356, 357, 367
China, tamaño de la población en, 528, 530
Chlamydomonas, 215
Chocolate, 29, 591
Chthamalus, 540
Chytridiomycota, 425-26
Cianobacteria
ciclo anual y decadencia de, 517
evolución/fotosíntesis, 337, 338, 375, 400
líquenes, 430, 431
tamaño, 379
Cianuro/efectos, 143
Cicadáceas, 413, 414
Ciclina(s)
cáncer, 208, 217
descripción/funciones de la, 204, 205, 206, 217
Ciclo(s)
biogeoquímicos, 567. *Véase también* Ciclos de nutrimentos
Calvin-Benson (ciclo C_3/plantas), 125-26, 128, 129
cardiaco, 653, 656-57
celular
control del, 201, 204-6
definición/descripción, 192, 193
DNA dañado y, 206, 208-9, 217
en células eucarióticas, 194-95
en células procarióticas, 193-94
puntos de control en el, 204, 205
de auge y decadencia, 515-17, 522
de Krebs (ácido cítrico), 139-142
de nutrimentos
definición/descripción de, 560, 564, 567-571
descomponedores/comedores de detritos, 564
de sueño-vigilia, 755
de vida
diploide, 213, 215
haploide, 213, 215
hidrológico, 570
menstrual
control hormonal, 824, 826-827
definición/descripción de, 824
sincronización del, 507-508
Ciclosporina, 434
Ciempiés, 460-61
Ciencia, 5, 8-9
forense
amplificación de DNA, 254, 255-56
casos de violación/evidencia de DNA, 250, 251, 254, 271
electroforesis en gel, 256-57, 258
panorama general, 254-58
perfil de DNA, 258
pruebas de DNA, 257-58
repeticiones cortas en tándem (STRs), 255-56, 257-58, 271
unicidad de DNA, 258, 288
Ciervo, 595, 596
Cigarrillo. *Véase* Tabaquismo
Cigomicetos, 426-27, 429, 436-37
Cigosporas, 427, 429
Cigoto(s)
humano, 824
vegetales, 216, 404, 416, 889, 896
Ciliados, 388, 395, 396
Cilindro vascular, 871, 872, 873, 874, 876
Cilios
definición/descripción, 66, 67, 395, 396
efectos del tabaquismo en los, 676, 678
evolución de los, 338
funciones de los, 67, 389
Cinetocoro, 198, 200, 210-213
Circo de Barnum y Bailey, 749
Circunvoluciones (corteza cerebral), 777
Cirugía
de derivación
coronaria (bypass), 654-55
gástrica o bypass, 687
de la banda gástrica, 687
Citocinas, 724, 729, 731, 738
Citocinesis
definición de, 195
en células
animales, 199, 200, 201
vegetales, 200-201
en meiosis, 210, 211, 213
microfilamentos, 200, 201
Citocroma *c*, 287-88
Citoesqueleto, 63, 66-67
Citoplasma, 11, 60-61
Citosina (C), 154, 155, 156-57
Citosininas, 910, 911, 915-16, 918, 919
Citosol, 60-61, 83
Clamidia, 828
Clarkia
biloba, 322
lingulata, 322
Clase (clasificación), 14, 358
Clasificación de organismos. *Véase también* Dominios de la vida; *categorías específicas*
árboles filogenéticos de reconstrucción, 362-63
cambios en la, 364-66
características anatómicas y, 359
jerarquía de categorías, 14, 358
nombre científico, 358
panorama de la, 14-15, 358-60
relaciones evolutivas y, 358-60, 365, 442-43
secuencia del DNA, 360, 365
semejanzas moleculares y, 360, 365
Claviceps purpurea, 434
Clima(s). *Véase también* Calentamiento global
definición/descripción de, 582
estado del tiempo versus, 582
factores que influyen en el, 582-85
regulación del, por los ecosistemas, 613-14
Clítoris, 823, 826
Cloaca, 695
Clonación
de animales, 202-3, 204
de plantas, 202
definición, 202
especies en peligro de extinción y, 203, 815, 833
ética y, 204
futuro de la, 203-4
problemas en la, 203
terapéutica, 204, 843
trastornos genéticos y, 270
Cloro, átomos de, 25, 586
Clorofila. *Véase también* Fotosíntesis
a, 120, 121
absorción de la luz por medio de la, 120, 121
b, 120, 121
definición/descripción, 74, 75, 404
en las bacterias, 375
Clorofluorocarbonos (CFC), 586
Cloroplastos
algas *Chlorella*, 339
función/estructura de los, 74, 75, 118-19
hipótesis endosimbiótica, 73, 337, 338, 339, 389, 400
Clostridium, 374
botulinum, 377-78
tetani, 377
Cnidarios (cnidaria), 446, 447-49
Cnidocitos, 448, 449
Cocaína, 681, 769, 780
Cocodrilos/cocodrílidos, 477, 478
Cóccix, 292
Cochinilla, 461
Cóclea, 783, 784
Codeína, 769
Codominancia, 235
Codón(es), 171
de inicio, 171, 172, 180
de terminación o de "alto", 171, 172, 176
Código genético, 171-72
Coenzimas, 108-9 A (CoA), 139-40, 141, 142
Coevolución
definición/descripción, 307, 340, 538, 540, 543
especies invasoras, 541
parásitos/huéspedes, 547
plantas/herbívoros, 546, 547
Cofia, 871
Col
agria, 139
fétida del Oriente, 887, 901, 904
Cola(s)
(espermatozoide), 821-22
de caballo, 410-411
Colágeno, 641
Colecistocinina, 701, 702, 755
Colénquima, 863
Coleóptilos, 897, 899, 912, 913
Colesterol, 46-47, 84, 654, 686
Colibríes, 479, 636-637, 901-902
Colon, 701
Color del conejo del Himalaya, 237
Coloración
de advertencia, 544
de sobresalto, 544, 545
Columbia, Trasbordador Espacial, 796
Columna vertebral, 471, 773
Combate ritualizado, 498, 499
Combustibles fósiles. *Véase también* Depósitos ácidos/lluvia ácida; Calentamiento global
orígenes de, 341, 405, 407, 410, 568, 572
quema de/efectos, 568, 571, 572-73, 622
reducir el uso de, 577
Comedores de detritos, 560, 564
Comensalismo, 547
Comercio de carne producto de cacería furtiva, efectos del, 618
Compartimiento
interior (mitocondria), 74
intermembranas (mitocondria), 74, 138, 142
"Compensación del carbono"/sitio Web, 577
Competencia(s)
definición/descripción de, 523-24, 538-39
en especies de Norte y Sudamérica, 326
entre especies, 523, 538-540
entre las plantas, 524

métodos de, 497-501
nicho ecológico y, 538-40
por concurso, 524
por invasión, 523-24
selección natural y, 307
tipos de, 523-24
Complejo
de receptor de andrógenos y testosterona, 184-85
mayor de histocompatibilidad (MHC), 728-729
Componentes bióticos y abióticos, 514
Comportamiento. *Véase también* Comportamiento humano; Aprendizaje
agresivo, 497-98
como resultado de la combinación entre factores innatos y aprendidos, 492-95
definición/descripción, 490
humano
bases genéticas/influencia, 506-508
común, 507
debate genética-medio ambiente, 508
del niño, 506-507
estudios con gemelos, 508
feromonas/aroma, 507-510
gestos para la comunicación, 507
innato, 506
lenguaje, 506-507
innato, 490, 493
interacción genes-ambiente, 494
juego, 508-9
Compuestos, 23
Comunicación
en las plantas, 920-21
en los animales
comunicación celular, 95-96, 742
definición/descripción, 495
mediante sonido, 496, 501
mensajes químicos, 496-97, 502, 504, 507-8, 509-10
para encontrar pareja, 501-2, 503, 504
señales visuales, 495-96, 501-2, 505
química, 496-97, 502, 504, 507-8, 509-10
Comunidad(es)
clímax, 550, 552, 553
definición/descripción de, 2, 3, 514, 538
de las chimeneas hidrotermales, 606-607
efectos de la extinción en las, 12
especies clave, 548, 549-50
flujo de energía a través de las, 560, 561-65
Comunidad Europea y la Oficina Federal Suiza para la Educación y la Ciencia, 267
Concentración, 85
Concepto de especie filogenética, 365-366
Concha de los moluscos, 454
Conclusión (método científico), 4, 5
Condicionamiento operante, 491-492
Condones, 830
Condrocitos, 806
Conducto(s)
biliar, 698
colectores, 711, 712, 713, 714
deferente, 820, 822, 829, 832
(glándulas exocrinas), 746
Conejos, 315, 328, 788
Congelación, 634, 644, 663
Coníferas
ciclo de vida del pino, 415
clima y, 414, 596-97
evolución de las, 342, 343
panorama de las, 414-16
reproducción en las, 342, 414-16, 889
Conjugación, 376
Connell, John, 520, 540
Conos (del ojo), 786, 787-88
Conservación. *Véase también* Especies en peligro de extinción
cacería furtiva y, 581, 592, 618, 620, 621
de los bosques, 580, 581, 590, 607
pájaro carpintero pico de marfil, 611
población mínima viable (PMV), 620
residentes locales y, 580, 581, 607, 621
sustentabilidad y, 625-29
Consumidor(es) , 561, 562-64. *Véase también* Heterótrofos
secundario, 562
terciario, 562
Contaminación
del aire, 435, 476, 477
por mercurio/efectos, 566, 572
Control(es)
biológicos, 541
método científico y, 4, 5
Coprolitos, 344
Cópula, 819, 825-26
Corales. *Véase también* Arrecifes de coral
decoloración de los, 604
descripción/rasgos, 448, 449, 817
protistas y, 394, 398, 399
Corazón (vertebrados)
estructura, 651-53, 656-57
evolución, 651-52
hormonas y, 744, 747
humano, 652, 654
sangre deoxigenada/oxigenada, 651-52
Cordados. *Véase también* Vertebrados
árbol evolutivo, 470
características clave de los, 470-71, 472
descripción/rasgos de los, 444, 445
invertebrados, 471, 472
Cordón nervioso
cordados, 470
gusanos planos, 450
Corion, 840, 847
Cormoranes de doble cresta, 566
Córnea, 785, 786
Cornwell, Patricia, 271
Coroides, 785, 786, 787
Corona radiada, 826, 827, 828
Corpúsculo de Pacini, 782
Corredores
ATP y, 107
cantidad de agua y, 717
de la vida salvaje, 623-25
energía y, 100,101, 102, 103, 104,105, 107, 113, 688, 803
esfuerzo final de los, 137-38
fermentación en comparación con, 137-38
euforia de, 769
pérdida de agua y, 113
Correns, Carl, 228
Corrientes, 600, 601
de aire y clima, 583
oceánica y clima, 584
Corteza
cerebral, 775, 776, 777, 779
de árboles, 870
de las plantas, 866-67, 872
renal, 710
suprarrenal, 743, 747, 753, 754-55
Cortisol, 753-54
Costa Rica, 624
Costra, 661
Cotiledones, 896, 899-900
Courtney-Latimer, Marjorie, 469,484
Cráneo, 773
Cráter Chicxulub, 346
Crecimiento
de la población humana
anticoncepción y, 528-529
aumento en el, 353, 526-527
capacidad de carga o sostenimiento (K), 518, 520-524, 526, 528-529, 617-619
como no sustentable, 627-628, 630
demográfico logístico, 518, 520-522
descripción del, 514, 526
distribución desigual del, 528-532
efectos del, 353, 482-483, 524, 570, 815, 898
en Estados Unidos, 532
estadísticas/predicciones del, 528-529, 829
estructura de edades/diagramas, 529-531
factores que afectan el, 515
gráfica del, 527
inmigración, 532
Isla de Pascua, 512-514, 520, 532
países en desarrollo/desarrollados, 527-531
países por debajo de la RLF, 530
pobreza y, 528-529, 627-628
por regiones del mundo, 531
retroalimentación positiva y, 639
tecnología y, 526-528
transición demográfica, 527-528
demográfico cero, 529
exponencial, 515-18
secundario (plantas), 862, 868-70
Creacionismo, 4, 9, 292
Cretinismo, 751
Crick, Francis, 5, 154, 155, 156, 171
Cro-Magnon, 350-51
Cromátidas (cromátidas hermanas). *Véase también* Meiosis
división celular mitótica y, 196-97, 198, 199, 200
hermanas. *Véase* Cromátidas
Cromatina, 68, 198
Cromistas (estramenopiles), 388, 392-93
Cromosoma(s). *Véase también* Cromosomas X; Cromosoma Y
condensados/"descondensados", 184, 198, 200
de células procarióticas, 76, 193
definición/descripción, 9, 67, 68
duplicado, 197
en la división celular, 196, 197
en los humanos, 197, 198
en varios organismos, 199
errores en números de, efectos de los, 240-44
estructura de los, 195-96
forma inactivada de, 184-86
genes y, 150, 196
haploides
definición/descripción, 198, 207
número en varios organismos, 199
infertilidad del híbrido, 320
longitud/números de genes, 196
organización en células eucarióticas, 195-99
relación con alelos/genes, 222, 229
sexuales. *Véase también* cromosoma X; Cromosoma Y
definición de los, 197, 231
determinación del sexo y, 197
división celular meiótica y, 198
no disyunción influye en los, 240-43
X. *Véase también* Cromosomas sexuales
coloración en los gatos, 186
comparación con el cromosoma Y, 197, 231
desactivación de, 184-86
fotomicrografía de, 231
insensibilidad a los andrógena y, 184, 185, 186
meiosis, 231
muestra del cariotipo y,197
Y. *Véase también* Cromosoma sexuales
comparación con el cromosoma X, 197, 231

descubrimiento del, 167
fotomicrografía de, 231
insensibilidad a los andrógena y, 184-86
meiosis, 231
muestra del cariotipo y,197
Cronología geológica, 336
Crustáceos, 461-62
Cruza de prueba, 227
Cubierta de la semilla, 410, 413, 896, 899
Cucarachas y la resistencia a los pesticidas, 291
Cuclillo, 490
Cuello de jirafa, 305-6, 310
Cuerdas vocales, 675
Cuernos, 47-48, 592, 620
Cuerpo(s)
basal (ciclios/flagelos), 66, 67
calloso, 776, 777, 778
celular (neurona), 762
de Barr, 184-85
esporulado (moho deslizante), 397, 398
lúteo, 824, 827
Cuidado paternal
cocodrilos, 478
mamíferos, 480
Currucas o sílvidos (gorjeadores), 317, 494, 539-40
de aubudon, 317
de gorra negra, 494-95
de los mirtos, 317
Curva(s) S, 518
crecimiento demográfico logístico se denomina, 518, 520
de supervivencia, 525-26
en forma de J, 515-516
Cutícula (plantas), 118, 119, 406, 862
Cuvier, Georges, 278, 280, 315
CVS (muestreo de vellosidades coriónicas), 268, 269

Danza ondulante, 505
Daphnia longispina (pulga de agua), 11, 14
Darwin, Charles. *Véase también* Evolución, selección natural
antecedentes, 282-283
El origen de las especies por medio de la selección natural, 282, 288, 289, 292
especiación, 316, 320
hormonas vegetales y, 912
importancia de su trabajo, 9, 278, 283, 358
lombrices de tierra, 451-52
mecanismos de evolución, 9, 281-82, 283
retrato, 282
Darwin, Francis, 912
vestigios de estructuras de especies según, 282-83
de serpientes, 282, 283, 285
ejemplos de, 283, 284, 285, 292
David ("el niño de la burbuja"), 735, 736
DDT
efectos en las aves/vida salvaje, 522, 566, 754
historia de su uso, 566
Defectos de nacimiento, 836, 837, 852-53, 854
Defensa(s)
contra las enfermedades. *Véase también* Respuesta inmunitaria; Sistema inmunitario
barreras externas no específicas, 722, 723
de invertebrados, 722-23
de vertebrados (generalidades), 722
internas no específicas, 722, 723-25
químicas, 416, 456, 459, 546, 547, 920
Deforestación
biocombustibles y, 529, 589
biodiversidad y, 12, 366, 596
cacería furtiva y, 618
calentamiento global y, 568, 573, 590, 614, 622
causas, 528-29
combate, 419
de la selva tropical, 12, 366, 590, 620
dióxido de carbono y, 568, 573
efectos, 12, 366, 419, 528-29, 596, 600, 618, 878
erosión por, 528, 600, 619
extinción por, 528-29, 611
Isla de Pascua, 513
tala inmoderada, 596, 620
transpiración, 878
Degeneración macular, 183
Deglución, reflejo de inhalar y tragar y, 675, 697
Delbruck, Max, 156
Delfines, 615-16, 620, 790
Demografía, 526
Dendritas, 643, 762
Densidad ósea, conservación de la, 810
Depósitos de caliza, 396, 398, 568
Depredadores clave, 624
Depresión, 769, 781
Derechos de conservación, 624
Deriva
continental
especiación y, 321-22
mapas que muestran la, 345
genética
definición/descripción de, 300-304
especiación, 320, 321, 322
tamaño de la población, 300, 302
Derrames de petróleo
biorremediación, 377
efectos sobre la vida salvaje, 571, 605
Desarrollo
animal. *Véase también* Células madre
células/plano genético, 842
control del, 842, 844-45
definición, 842
descripción, 840-42
directo, 838, 839
indirecto, 838-39
homeoboxes, 845
membranas embrionarias, 840
migración celular, 844
transcripción genética y, 844
directo, 838, 839
humano. *Véase también* Envejecimiento, alumbramiento
cartílago/hueso, 806
embrionario/desarrollo fetal, 845-50
hormonas y, 824-25
panorama general, 845-54
sustentable, 625-26
Descartes, René, 755
Descomposición, 564
Desertificación, 593
Deshidratación
ADH y, 715, 717
consumo de alcohol y, 717
Desierto(s)
de Atacama, 592
de Gobi, 592
de la Gran Cuenca, 592
de Mojave, 585, 593
de Sonora, 593, 598
del Sahara, 592, 593
descripción del bioma, 592-93
efectos de las actividades humanas, 593
ubicación, 583
Desmonte (de zonas arboladas), 597, 619
DeSilva, Ashanti, 265
Desmosomas, 95, 653
Desórdenes alimentarios, 685, 702-3. *Véase también* Anorexia nerviosa, Bulimia nerviosa
Desove, 817-18
Desoxirribosa, 41
Determinación del sexo, 197, 231
Deuel, Patrick, 687
Deuterostomas, 445, 463
Diabetes
juvenil, 734
mellitus, 752
otros riesgos derivados de, 654, 752
tipo 1, 756
tipo 2, 756
tratamiento/cura de la, 264, 265, 756
Diablo de Tasmania, 481
Diafragma
anticoncepción, 830
respiración, 680, 681
Diagnóstico genético. *Véase también* Diagnóstico prenatal
para portadores de anomalías, 244, 262, 268
para "selección" de embriones, 271
Diálisis peritoneal, 714
Diamond, Jared, 532
Diana, princesa, 685
Diatomeas, 388, 392-93
Diagramas de estructura de edades, 529-31
Dicotiledóneas
desarrollo, 896-97, 900
descripción/características, 860, 861, 866, 867, 868, 870, 880
efectos de la auxina sintética en, 910
flor completa de dicotiledónea, 892
Dictyostelium, 398
Didinium, 395, 396
Dientes
caries y, 261, 374
extracción de las muelas del juicio y, 277, 292
placa sobre los, 77
se adaptan a la dieta, 694, 695
Diferenciación, 195, 842, 844
Difosfato de adenosina (ADP), 92, 106-7
Difusión
a través de la membrana plasmática, 86-88
absorción de agua por las raíces, 874
definición/descripción de, 59, 85-86, 650
facilitada, 87, 88
intercambio de gases y, 670, 671
simple, 87-88
Digestión intracelular, 692-693
Dimorfismo sexual, 502
Dinoflagelados, 388, 394
Dinosaurios
diversidad de, 343
evolución, 343-44
extinción, 10, 11, 116, 130, 344, 346, 476, 480, 615
fósiles, 275, 279, 280
Dinucleótido
de flavina y adenina (FAD), 107
de nicotinamida y adenina (NAD^+), 107, 135-138
fosfato de. *Véase* NADPH
Dióxido de carbono. *Véase también* Calentamiento global; Fotosíntesis; Sistemas respiratorios
ciclo C_3, 125, 126
homeostasis y, 567-68, 572-73, 577
liberación a partir de la fermentación, 137, 138, 139
Diplomónadas, 388, 390-91
Disacáridos, 39, 40, 41-42, 688, 699
Discos
embrionario, 847, 848
intercalados, 653, 799, 804
intervertebrales, 806

Disentería amibiana, 397
Disminución del krill, 576
Dispersión de semillas de coco, 413, 903
Dispositivo intrauterino (DIU), 830-831
Distribución
  agrupada, 524,525
  aleatoria, 525
  independiente. *Véase* Ley de la distribución independiente
  uniforme, 524, 525
Distrofia muscular, 804
División celular. *Véase también* Meiosis; Mitosis
  cáncer y, 195, 206, 208-9
  definición/descripción, 194
  diferencias en la rapidez de la, 194, 195, 201
  fisión binaria, 193-94, 375-76
  meiótica, 195. *Véase también* Meiosis
  microtúbulos/microfilamentos, 67, 198, 199, 200, 201, 210, 211-13
  mitótica. *Véase también* Mitosis
    cáncer, 208-209
    citocinesis, 195, 199-201
    definición/descripción de, 195
    funciones, 195, 208
  parasimpática/sistema nervioso, 771-773
DNA. *Véase también* Ciencia forense; Genes; DNA recombinante; Transcripción
  amplificación de, 254, 255-56, 269
  clasificación de organismos/emparentados, 360
  comparación con RNA, 169
  comparación entre organismos, 286-87
  de los antiguos *homo*, 350, 351
  definición/descripción, 9, 10, 53
  descubrimiento/transformación, 150-51, 252
  duplicación semiconservativa del, 158
  en células eucarióticas, 174, 175, 195-96
  en células procarióticas, 193
  en cromosomas eucarióticos, 195-96
  estructura/descubrimiento, 53, 151, 154-57, 159
  evidencia del, en caso de violación, 250, 251, 254, 271
  funciones, 61-62, 67-68, 149, 157, 168
  helicasa, 158, 159, 160, 161
  individualidad/universalidad de, 258, 288
  ligasa, 160, 161, 260
  mutaciones, 158, 162, 163
  origen de la vida, 334
  polimerasa
    en PCR, 255
    estructura, 169
    funciones, 158, 159, 160, 161, 255
  recombinante. *Véase también* recombinación genética
    definición de, 252
    ejemplo de productos médicos y el, 264
    muestra prenatal y, 269
    naturaleza y el, 252-54
    tratamiento de enfermedades y, 264-65
  secuencia de subunidades, 157
  ubicación, 68, 174
Doble
  fecundación, 896
  hélice (DNA), 154-57, 195-96
Dobzhansky, Theodosius, 9
Dodó, 898
Dolly, oveja, 202-3
Dominancia apical, 915-16
Dominancia incompleta, 233
Dominio(s)
  generalidades, 14-15, 358, 360-61, 364
  sistema de tres dominios, 14, 360-61
  sistemas de tres y cinco reinos, 360
Dopamina, 761, 769
Doping, 132, 133, 137, 143, 145, 659
Double Helix, The (Watson), 156
Doublesex (gen), 182
Dragón(es)
  de Komodo, 478
  de mar, 542
Dresser, Betsy, 832-33
Drosera, 882, 909, 921
Drosophila (mosca de la fruta), 182, 232-33
Duplicación de DNA
  burbujas de duplicación, 159, 160, 161
  cromosoma duplicado, 197
  definición/descripción, 157-58, 159-61, 171
  en células procarióticas, 193
  horquillas de duplicación, 159, 160, 161
  mutaciones, 185, 298
  velocidad de, 160
Duramen, 869
Duranceau, Suzanne, 487
Dylan, Bob, 434

Ecdisona (*hormona de la muda*), 746
Ecolocalización, 790, 791
Ecología, 514
Economía ecológica, 614-615
Ecosistemas
  acuáticos
    DDT y, 566
    de agua dulce, 598-601
    destrucción del hábitat/efectos en los, 476
    distribución de la vida en los, 598-607
    efectos de la sedimentación ácida en los, 572
    estanques/lagos, sucesión en los, 553
    marinos, 601-7
    requerimientos de la vida en los, 598
  ciclos de nutrimientos en los, 560, 564, 567-71
  conservación de, 623-25
  de agua dulce, generalidades, 598-601
  definición/descripción, 514
  flujos de energía en los, 560, 561-65
  marinos (perspectiva general), 601-607
  sustentabilidad, 625-29
Ecoturismo, 419, 614, 621, 624
Ectotérmicos, 636-37
Ectodermo, 443, 841
Edades de las rocas lunares, 338
Efecto(s)
  Coriolis, 583
  de invernadero, 573
  de la caza excesiva, 522
  de las actividades humanas/biomas
    bosques caducifolios de clima templado, 595-596
    capital ecológico de la Tierra, 617-619
    desiertos, 593
    ecosistemas de agua dulce, 599-600
    ecosistemas marinos, 601-607
    éxito biológico vs., 482-483
    huella ecológica, 528, 533, 617-619
    pastizal (pradera), 594-595
    sabana, 592
    selva tropical, 589-591
    taiga (bosque septentrional de coníferas), 597
    tundra, 597-598
  fundador, 303-4
Efectores, 770
Eficacia biológica y éxito reproductivo, 305
Ehrlich, Paul/Anne, 12, 639
Eibl-Eibesfeldt, Irenaus, 507
Eisely, Loren, 28
El Niño/efectos del, 584-85
Elastina, 48
Electricidad como energía, 102
Electroforesis por gel, 256-57, 263
Electrolocalización, 790, 791
Electrones, 22, 23
Elefantes
  cacería furtiva, 618
  comercio del marfil, 620
  como especie clave, 548, 592
  comunicación, 496
  en la sabana, 591, 592
  especies de, 364
Elefantiasis, 664, 665
Elementos, 2, 22
  de tubo criboso, 864-65
  radioactivos, descomposición de,
    definición de, 22, 24
    fechar las capas de los fósiles y, 338
    formación de la tierra y; 335
Embriología y evolución, 282, 286, 287
Embrión
  desarrollo, 840-42, 845-50
  humano, 823
Emigración, 514
Emociones, 779, 780, 781
Enanismo, 749-50
Encéfalo
  comparación entre encéfalos de vertebrados, 775
  de mamíferos, 480
  embrionario, 775
Encefalopatía espongiforme bovina (BSE), 37
Endocitosis, 66, 92-94
  mediada por receptores, 93
Endodermis, 872
Endodermo, 443, 841
Endoesqueleto, 463, 805
Endófitos, 432
Endogamia, 304
Endometrio, 823, 824-25, 827
Endorfinas, 769, 790
Endosimbiosis secundarias, 389
Endospermo, 896
Endosporas, 374
Endotérmico/organismos de sangre caliente, 479
Endotérmicos, 636, 637
Endulcorante artificial, 41
Energía. *Véase también* Respiración celular; Metabolismo de la glucosa; Metabolismo; Fotosíntesis
  cinética, 102, 104
  como determinantes para la vida, 585
  conservación de, 628, 630
  de activación, 104, 108-9
  definición/descripción, 13, 15, 102
  electrones, 23
  en ecosistemas acuáticos, 598
  entre reacciones acopladas (celular), 105-7
  flujo
    a través de los ecosistemas/comunidades, 13, 560, 561-65
    en reacciones químicas, 103-5
  leyes de la termodinámica, 102-3, 105, 108
  moléculas portadoras de energía. *Véase también moléculas portadoras de energía específica*
  solar. *Véase también* luz solar
  transferencia a través de niveles tróficos, 564-65
Enfermedad(es). *Véase también enfermedades específicas*
  africana del sueño, 392, 547
  autoinmunes, 734-35
  cardiovasculares, 654-55, 685. *Véase también* Tabaquismo; *problemas específicos*
  de Creutzfeldt-Jakob (vCJD), 37, 382. *Véase también* "enfermedad de las vacas locas"
  de Hodgkin, 12

de Huntington, 239
de *Kuru*, 382, 385
de las vacas locas, 8, 36-37, 54
de Lyme, 378
de transmisión sexual (ETS). *Véase también* SIDA; VIH
ejemplos de, 391, 828
protección contra, 830
visión general de, 828
nagana, 547
tizón tardío, 392
Enfoque cladístico, 362-63
calentamiento global, 575
de las encías, 374
enzimas y, 110
Enfisema, 677, 678
Enlace(s), 23, 24-28
covalentes, 25, 26-27
no polares, 25-26
de alta energía, 106
iónicos, 25-26
peptídico, 49
químicos, 23, 24-28
Ensayo sobre el principio de la población, (Malthus), 283, 289
Entomólogos, 323
Entrenudos (plantas), 867
Entropía, 103, 105
Envejecimiento
definición, 852-53
edad de los padres/no disyunción cromosómica, 244
mutaciones y, 185
panorama del, 852-54
radicales libres, 27, 690, 854
rayos UV y, 586
síndrome de Werner, 185
telómeros, 203
Envoltura nuclear, 68
Enzimas. *Véase también* Restricción de enzimas
de restricción
anemia de células falciformes y, 262, 263
organismos genéticamente modificados (OGM) y, 259-60
MstII, 262-263
efectos ambientales en, 112-13
energía de activación, 108-9
especificación de, 109-10
formas inactivas, 110
inhibición por retroalimentación, 111
nomenclatura de, 97
proteínas y, 169
regulación
alostérica, 110-11
celular de, 110-11
temperatura y, 112
veneno/efecto de las drogas en, 111-12
Eosinófilo, 657, 659
Ephedra, 413
Epicótilo, 897, 899
Epidermis
de la piel, 640, 641, 644
invertebrados, 456
plantas, 118, 119, 862, 869
Epidídimo, 820-21, 822
Epiglotis, 675, 676, 696, 697
Epilepsia, 852
Epinefrina (adrenalina), 657, 744, 753
Epitelio
estratificado, 640, 641
simple, 640, 641
Epstein, R., 492
Equidna, 480
Equinodermos
clasificación/evolución, 443
descripción/características, 444, 445, 447
generalidades, 463-64
sistema vascular acuoso de, 463, 464
Equisetum, 410
Era paleozoica, 336, 340
Eritrocitos (glóbulos rojos). *Véase también* Hemoglobina
células normales, 239
en anemia de células falciformes, 239, 262
formación, 658
función/estructura, 642, 643, 657, 658
retroalimentación negativa y, 659
tiempo de vida, 658
viajan a través de los capilares, 662
Eritropoyetina, 145, 261, 659, 715-16, 755
Erizos de mar, 320, 463, 549-50
Erosión
deforestación y, 528, 600, 619
desembocadura de los ríos, 600
servicios de los ecosistemas, control de, 613
técnica de sembrar sin labrar, 627
Escarabajo(s), 459, 497, 541, 546, 547
asiático de cuernos largos, 541
bombardero, 459, 546, 547
Escherichia, 372, 378
coli
cepa O157:H7, 379
conjugación en, 376
daños por cepa, 379, 722
fisión binaria en, 194, 376
longitud de los cromosomas, 252
operón lactosa, 181-82
tamaño, 379
uso de energía en la síntesis de proteínas, 180
Esclerosis múltiple, 734
Escorpiones, 459-60
Escroto, 820-21
Esclerótica, 785, 786
Esclerénquima, 863-64
Esfínter(es)
esofágico inferior, 697
estómago y, 697
recto y, 701
vejiga y, 710
Esófago, 696, 697
Espádice, 886, 892, 904, 905
Especiación
aislamiento de la población y, 320, 321-22, 328
aislamiento genético y, 322, 323
alopátrica, 321-22, 328
camuflaje y, 554
continentes separados y a la deriva y, 321-22
definición de, 320
deriva genética y, 321, 322
descripción de, 10, 289, 320-24
por poliploidía,326, 327
radiación adaptativa y, 324, 325, 326, 340
simpática
definición, 321, 322-24
por poliploidía, 326
Especialización excesiva y extinción, 325
Especies
amenazadas (IUCN "lista roja"), 616
apariencia y, 316-17
aumento del número de, con el tiempo, 344
biológica, concepto de, 316, 320, 364-65, 366
clave, 548-550
concepto de
biológico de, 316, 320, 364-65, 366
filogenético de, 365-66
definición de, 3, 14, 316-17, 358
desconocidas, 12, 366
descubiertas recientemente, 314, 315, 328, 615
en Vietnam, 314
designación de las, cambia
en peligro de extinción. *Véase también* Biodiversidad; Conservación; Extinción; *especies diferentes*
África, 581, 591, 592
árboles de cacao y, 591
cacería furtiva, 618
causas, 308, 413, 419, 820
clonación y, 203, 815, 833
destrucción del hábitat/pérdida, 308, 413, 419, 619-20, 832-33
fragmentación del hábitat, 619-20
generalidades, 308
IUCN "lista roja", 616-17
pérdida de la diversidad genética, 308
Rafflesia arnoldii, 419
rinocerontes como, 308, 591, 592, 819-20
salmón, 577
selva de Arabuko-Sokoke, 581
sobreexplotación de, 620
tortugas marinas, 621
zoológico congelado (banco de DNA), 814-15, 819, 820, 832-33
introducidas (invasoras), 620, 898
Caulerpa taxifolia, 386-387, 400
descripción/efectos de las, 518, 523-524, 541, 620, 622
nichos ecológico y, 539
nombre científico de, 14, 328, 358
y la vanidad, 328
número existente de, 12, 366
origen de las, 10, 289, 320-24
sistema de clasificación de, 14, 358
vulnerables (IUCN), 616
Espectro electromagnético, 120-21
Espermátidas, 821
Espermatocito secundario, 821
Espermatóforos, 819
Espermatogénesis, 821, 822
Espermatogonias, 821
Espermatozoides
cantidad baja de, 829
definición de, 817, 821-22
flagelos de, 67
hormonas y, 749
humano en la superficie de un óvulo, 67, 827
número de, por eyaculación, 180, 826, 828, 829
producción de, 217, 821, 822, 824, 832
Espermicida, 830
Espículas, 447
Espina bífida, 268
Espiráculos, 672, 673
Esporangios, 410, 426, 427
Esponjas
descripción de las, 443, 445-47, 604, 670, 671
difusión y, 650
digestión y, 692, 693
diversidad de las, 445
mejillón cebra y, 555
por gemación, 447
Esporas. *Véase también* Esporofito
briofitas y las, 407, 408, 409, 410, 889
hongos se reproducen por las, 424-25, 426, 427, 428, 436-37
mohos deslizantes y las, 397, 398
plantas vasculares sin semilla y las, 410
Esporozoarios (apicomplexa), 394-95
Esporofito
Plantas
no vasculares y, 406, 407, 410, 416
vasculares y, 216, 404, 407, 410, 412, 415, 416, 418, 419, 891
tamaño/evolución de las plantas y, 416, 419

Esqueleto(s)
apendicular, 798, 806
axial, 798, 806
de azúcares y fosfatos (DNA), 154
funciones del, 804-6
hidrostáticos, 452, 804-805
interno, 471
movimientos del, 798, 805-6, 808-9, 811
tejidos que forman el, de los vertebrados, 806-8
tipos de, 804-5
Esquizofrenia, 781
Estación(es)
cambios en las, y respuesta de los animales, 522
curvatura y la inclinación de la Tierra generan las, 582-83
Espacial Internacional, 797
Estado
de latencia (latente), 899, 911, 920
del tiempo
calentamiento global sobre el, 574-75
clima contra, 582
comportamiento animal ante el, 522
definición del, 582
regulación de la población por el, 522
Estados Unidos
generador de gases de invernadero, 576, 577
población creciente en, 532
tratado de Kyoto, 576
Estambre, 16, 892
Estatura, como rasgo poligénico, 237
Esterilización, 829
Esteroides
anabólicos
riesgos para la salud, 757
uso de, 740, 741, 757
atletas y uso de, 740, 741, 757
estructura de, 40, 46-47
Estetoscopio, 653
Estigma, 16, 416, 418, 892
Estilo, 892
Estómago
alcohol y, 698
función/estructura, 696, 697-98, 755
PH del, 112, 698, 702
úlceras y el, 698, 699
Estomas
estructura, 119, 877
funciones, 118, 127, 406, 865-66, 876, 877-78
plantas regulan sus, 878
Estrada, Alejandro, 898
Estrellas de mar, 464, 463, 548, 549, 603
Estreptococo (bacteria), 378
de garganta, 378
pneumoniae, 150-51
pyrogens (bacteria carnívora), 379, 722
Estreptomicina, 178, 299
Estrógenos
en el desarrollo embrionario, 848
estructura, 46
funciones, 753, 810, 820, 824-25, 826, 827, 829
huesos y, 810
perturbadores endocrinos y, 754
producción en ovarios de las aves, 183
Estroma (cloroplastos)
estructura de, 74, 75, 118, 119, 120
reacciones independientes de la luz y, 125
Estructura(s)
análogas, 286
de la fructosa, 41
homólogas, 283-285, 359
secundaria de las proteínas, 49-51
terciaria de las proteínas, 50-51
Estuarios, 600, 602
Estudio PET (tomografía por emisión de positrones), 24, 780
Estudios de comportamiento de las gaviotas, 493
Etapa S (interfase), 194, 200
ETC. *Véase* Cadena transportadora de electrones (ETC)
Ética
biotecnología, 204, 265, 268-71
clonación y, 204
diagnóstico prenatal/aborto terapéutico, 270
en la investigación con animales, 77, 483
especies en extinción, 308
investigación con animales, 77, 483
Etileno, 910, 911, 918, 919, 920
Etiquetado de los fragmentos de DNA radiactivos, 257-58
Etología, 493
Eucalipto, 416, 417
Eucariotas
en los primitivos sistemas de clasificación, 360
tipos en los ciclos de vida, 213-16
Euforbiáceas, adaptaciones, 585
Euglena, 391-92
Euglénidos, 388, 391-92
Euglenozoos, 388, 391-92
Eukarya (dominio), 14-15, 361, 364. *Véase también eucariotas específicos*
Euplotes, intercambio de material genético, 390
Eutroficación, 600
Evaluación del ecosistema del milenio, 612
Everglades
descripción de los, 600
restauración, 600, 602, 616-17
Evidencias de la evolución. *Véase también* Fósiles
anatomía comparada, 282, 283-86
bioquímica/genética, 282, 286-88
embriología, 282, 286, 287
panorama general, 282
Evolución. *Véase también* Darwin, Charles; Fósiles; Evolución humana; Historia de la vida; Selección natural; Evolución de las plantas
acuerdo de los científicos sobre, 326
adaptaciones al intercambio de gases, 670-73, 675
cambio de la frecuencia de alelos, 297, 305
causas, 298-306
clasificación de organismos y, 358-60, 365, 442-43
convergente, 284, 286, 358, 359
cultural, 353
de la fecundación interna, 478
de la visión cromática, 347
de protistas, 400
definición/descripción, 9-10, 278
desarrollo del concepto, 278-82
edad de la Tierra y, 280-81
estructuras vestigiales, 276, 277, 282, 283, 284, 285, 292
humana
adaptaciones para la vida en los árboles, 346-347
comparación entre los cromosomas de los chimpancés y los seres humanos, 360
comportamiento, 353
cráneo, 330
evolución cultural, 353
fósiles, 347, 350-351
humanos modernos, 350, 352-354
locomoción bípeda, 347, 355
Neanderthales, 350-351
orígenes africanos, 350, 352, 367
panorama general, 346-353
relaciones evolutivas, 348, 365
tamaño del cerebro, 347, 350-351, 353, 480
tumba del paleolítico, 350
variabilidad genética, 367
visión, 347
importancia de, 9, 278, 283
línea del tiempo en la comprensión de, 278
mutaciones, 178, 180, 207, 216, 298-99
no progresiva, 305-6
población y, 14, 288-91, 296, 297-98
postulados de, 288-89
principio de Hardi-Weinberg, 298
religión y, 4, 9, 278, 280, 281, 332
secuencia del genoma humano y, 262
teorías previas a Darwin, 278-79
Ewing, Douglas, 887
Excavados, 388, 390-91
Excreción, 708
Exhalación, 680, 681
Exocitosis, 94
Exoesqueletos, 342, 456-57, 804-5
Exones, 174, 175
Experimentación (método científico), 4-5
Experimentos con *neurospora crassa*, 169
Éxtasis (MDMA), 769
Extinción(es). *Véase también* Especies en peligro de extinción
ámbitos limitados, 324-25
cacería furtiva, 618
calentamiento global, 622, 819
cambios
/adaptación y, 10, 11
en el hábitat/destrucción, 12, 322, 324-25, 326, 482-83, 622, 819
causas (panorama general), 324-26
caza excesiva, 522
DDT, 566
de dinosaurios, 10, 11, 116, 130, 344, 346, 476, 480, 615
de osos polares, 576
definición de, 324
deforestación, 528-29, 611
ecosistemas perturbados con, 898
en la historia de la vida, 344-46, 476, 615
en la Isla Mauricio, 898
especialización extrema, 325
estadísticas sobre, 324
ética, 308
extinciones masivas, 344, 345-46, 615
humanos/población humana, 482-83, 522, 529
importancia de, 12
interrupción de la diseminación de semillas, 898
masivas
por actividades humanas, 615
por cambios climáticos y catástrofes, 345-346, 615
por hibridación, 322
por la competencia, 324, 325-26
tasas de, 615-17
Extinction, (Ehrlich), 12
Extracción de petróleo
Refugio Nacional de la Vida Silvestre del Ártico, 576
tundra y, 598
Extremo anterior (cabeza), 444
Extremófilos, 1
Exxon Valdez, derrame de petróleo, 377
Eyaculación, 822

Factor(es)
de crecimiento
control del ciclo celular y, 205, 206
del cáncer, 208, 209
de liberación, 176, 178
dependientes de la densidad, 521-22, 522-24
independientes de la densidad, 519, 521, 522, 524
FAD (dinucleótido de flavina y adenina), 107
Fago (bacteriófagos), 152-153, 380, 381
Fagocitos, 723, 727
Fagocitosis, 72, 94, 727
Falos hediondos, 430
Familia
de las calabazas, 892, 893
(clasificación), 14, 358
Fármacos. *Véase también* Alcohol; Medicina
abuso/adicción, 769, 792
anticoncepción masculina, 832
antidepresivos, 769
formación de hueso, 810
clonación, 203, 204
coágulos de sangre y, 655
derivados
de las esponjas, 447
de las plantas, 405, 416, 612-13
de los hongos, 434
embarazo y, 836, 837, 850, 852-53, 854
enfermedades autoinmunes, 734-35
enzimas, 111-12
medicamentos antivirales, 612, 733, 734-35
medicamentos contra el cáncer, 111-12, 447, 613
organismos genéticamente modificados y producción de, 260-61
para aliviar el dolor, 790
Faringe, 675-676, 696-697
Fascículo auriculoventricular, ramas del, 656, 657
Fascitis necrosante, 379
Fase
G_0 (interfase), 195
G_1 (interfase), 194, 195, 201
G_2 (interfase), 194
Fechado radiométrico, 338
Fecundación. *Véase también tipos específicos*
anomalías en el aparato reproductor, 829
competencia por, 819
definición/descripción, 816, 896
en humanos, 84, 824, 825, 826-29, 847
externa, 817-18
in vitro
para especies en peligro de extinción, 815, 832-833
para humanos, 829, 831
interna, 478, 819-820. *Véanse también los ejemplos específicos*
limitar la fertilidad, 829-31
Fenilalanina, 168
Fenilcetonuria (PKU), 110, 168
Fenotipos
ambiente y, 235-237
definición/descripción de, 225, 296
selección natural y, 306
Fermentación
alcohólica, 137, 138, 139
alimentación humana, 139, 435
del ácido láctico
en los alimentos, 138
en los músculos, 137-138, 143, 670, 803
panorama general, 134, 135-38, 142
proceso de, 137-38
Feromonas
definición/descripción de, 496-497, 502, 504, 505, 818
humanas, 507-508
plagas de insectos y, 497
Fertilidad en el nivel de reposición (RLF), 528, 529, 530, 531
Fertilizantes/efectos, 568, 569, 570, 571, 600, 922
Feto, 824, 848, 849, 850
Fibras
del huso sueltas, 199, 200
musculares, 643, 800-802
Fibrilina, 221, 244
Fibrina, 659, 660
Fibrinógeno, 658, 659, 660
Fibrosis quística
alelos múltiples, 233
descripción/generalidades, 234, 262, 265
diagnóstico
biotecnología, 262-64
prenatal, 244, 268, 269, 270
tratamiento/biotecnología, 234, 261, 264-65
Fiebre, 723, 724-25
"del heno", 733, 890
de los valles, 434
hemorrágica de Ébola/virus, 381, 384, 722
Filamentos, 892
delgados, 800, 801
gruesos, 800, 801
intermedios, 66
Filogenia
definición de, 358, 362
del VIH, 367
Filtración, 711, 712, 713
Filtrado, 712, 713
Filum (clasificación), 14, 358
Fisher, Helen, 792
Fisión
(reproducción), 816
binaria, 193-94, 375-76
Fitocromos, 917-918
Fitoplancton,
amenazas al, 600
definición/descripción de, 393, 599, 602, 605
Fitzpatrick, John, 611
Fitzroy, Robert, 282
Flagelos
de espermas, 821-22
de eucariotas, 67
de procariotas, 75, 76, 373
definición/descripción de, 66, 67
en hongos, 425, 426
evolución de, 338
movimiento de, 67, 373
Flavonoides, 29
Fleming, Alexander, 5, 8
Floema(s), 864-865, 869-870, 879-880
secundarios, 868
Flor(es)
adaptaciones para la polinización, 16, 342, 406-7, 416, 417, 857, 887, 890-91, 894, 895, 900-905
"cadáver", 887, 901, 904
completa, 892
de filodendro, 887, 905
definición/descripción de, 861
del pimiento/desarrollo del fruto, 896
efectos hormonales, 916-17
estructuras reproductivas de, 891-96
función/estructura, 889-96
imperfectas (incompletas), 892
"que emiten calor", 887, 901, 904-5
Fluido
extracelular, 83
(definición), 85
intersticial, 662, 664, 708, 713
Flujo
de genes, 298, 300
masivo, 671, 872, 876
Flúor, 77
fMRI (imagenología por resonancia magnética funcional), 780
Focas
calentamiento global y consecuencias en las, 576
elefante marino del norte genéticamente idénticos a otra especie de,303
tejido adiposo de las, 642
Foley, Jonathan/familia, 577
Folículo(s)
(ovogénesis), 823, 824
pilosos, 644
Fonda, Jane, 685
Foraminíferos, 388, 396
Formación reticular, 775
Formas de vida pelágicas, 605
Forsteronia refracta,613
Fosas recubiertas (membrana plasmática), 93
Fosfato como amortiguador, 32
Fosfoenolpiruvato (PEP), 128, 129
Fosfolipasas, 97-98
Fosfolípidos. *Véase también* Bicapa fosfolipídica (membrana plásmica)
definición/descripción de, 40, 46, 686
partes hidrofílicas/hidrofóbicas de los, 59-60, 83
Fosforilación, 204, 206, 208, 209
Fósforo
ciclo del, 569-570
modelo atómico del, 23
Fósiles
animales primitivos, 340
Australopithecus, 349
como evidencia de la evolución, 275, 279-82, 282, 283, 284
coprolitos, 344
definición/descripción, 279
del homínido más antiguo, 347
ejemplos de, 279
evolución humana, 346
fechado de, 338
mamíferos primitivos, 344
más antiguos, 340
organismos extintos, 279-80
plumas para volar/aves, 344, 479
precámbrico, 442
"vivientes", 484
Fotones, 121-124
Fotopigmentos, 785, 787
Fotorreceptores, 787
Fotorrespiración, 127-129
Fotosíntesis
agujero de ozono y, 586
cloroplastos, 74
colonización de la tierra, 340
definición/descripción de, 13, 118
en la historia de la vida, 337
fórmula de la, 134
hojas de las plantas, 118-119
líquenes, 430-431, 548
panorama general, 118-120
por protistas, 389-392, 394, 398, 399
reacciones
dependientes de la luz, 119-125, 127
independientes de la luz, 119-120, 125-127
resumen gráfico de la, 127

su importancia para la vida, 129-130, 134, 561
sulfuro de hidrógeno, 337, 375
Fotosistemas, 121-123
Fototropismo, 910, 913-914
Fóvea, 787
Fragmentación del hábitat, 619-20
Fragmentos de restricción, 262
Franklin, Rosalind, 154, 155, 156
Fraser, William, 576
Frutos
definición/descripción de, 416, 418, 861, 892
desarrollo, 892, 896
dispersión de semillas, 407, 416, 903-4, 919
efecto de las hormonas, 918, 919
o semillas del arce, 903
FSH (Hormona estimuladora de folículos), 749, 753, 820, 822, 826, 827
Fucus, 393, 603
Fuente de azúcar, 879, 880
Fumar (tabaquismo). *Véase también* Nicotina
complicaciones reproductivas que provoca el, 678
dejar de, 668, 669, 679, 680, 681
estadística sobre, 669, 678, 679, 681
humo de segunda mano y, 678-79
riesgo para la salud, 10, 163, 654, 669, 676, 678-79, 681, 699, 737, 810, 852
Fundación
Bill y Melinda Gates, 267
Gates (Bill y Melinda), 267
Mundial del Cacao (WCF), 591
Nacional de Osteoporosis, 810
The All Species, 328

G_1 a S (punto de control), 204, 205, 206, 208, 209, 217
G_2 a mitosis punto de control, 204, 205, 206, 208
G3P (gliceraldehído-3-fosfato) 126, 135, 136
GABA (ácido gamma-aminobutírico), 769
Gage, Phineas, 781
Galactosa, 41, 699
Gallagher, Tim, 611
Gameto(s)
con progenitores homocigóticos /heterocigóticos, 224, 225
definición/descripción de, 195
meiosis, 195, 207
reproducción sexual, 195, 207
variabilidad genética, 207, 217
Gametofitos
en plantas
no vasculares (briofitas), 407, 408, 409, 416, 419, 889
vasculares (traqueofitas), 216, 407, 410, 412, 415, 416, 418, 419, 891
tamaño/evolución de, 416, 419, 818
Ganado raza Belgian Blue/ músculos, 148, 149, 157, 163, 179
Ganglios, 450, 770
de raíz dorsal, 773, 774
Garrapatas, 378, 459-60
Garrod, Archibald, 168-69
Garza nevada, 617
Gases
invernadero. *Véase también gases específicos*
calentamiento global, 573, 574, 576
longitudes de onda infrarrojas, 582
nerviosos, 112
Gasterópodos, 454, 455
Gastrina, 701, 702, 755
Gástrula, 841, 844
Gastrulación, 841, 844, 847
Gatos
clonación de, 204
hibridación, 322
manchados/cromosoma X, 186
montés, 322
variabilidad genética en los, 207
Gavia inmer, 358
Gemación, 447, 449, 816
Gemelos,
estudios con, 508
fraternos, 508
idénticos, 508
Gen(es). *Véase también* DNA; Herencia; Mutaciones
ambiente y, 237, 296, 494
Bt, 259-61, 266, 269
CFTR, 234
definición/descripción de, 11, 222, 296
de miostatina, 149,157, 163, 179, 206
diversidad de perros, 147
en células eucarióticas, 174, 175
en procariotas, 174, 175
estructurales, 181
expresión de, 180-82
fragmentados, 174, 175, 176
ligados a los cromosomas sexuales, 231-33, 240
número en el genoma humano, 180, 261
relación con
las proteínas, 168-72, 174
los cromosomas/alelos, 222, 229
regulación de, 180-86
regulador, 181
SRY (región determinante del sexo en el cromosoma Y)
descubrimiento del, 186
funciones del, 186, 235
pleiotropía ejemplo del, 235
transcripción y, 186
supresores de tumores, 208, 217
TYR, 238
Generación
espontánea, 3, 4, 6, 64, 332
parental (P), 223
Género
(clasificación), 14, 358
Sialia (azulejo), 358, 359
Genetic Savings and Clone, 204
Genética. *Véase también* Herencia
parentesco entre organismos, 286-88
Genoma humano, 180
proyecto del, 261-262, 365
Genotipo
definición/descripción de, 225, 296
desigualdad de, 304-5
Geología y evolución, 279-81
Germinación (esporas), 889
Giardia, 390-91
Giberelinas, 910, 911, 918
Gigantismo, 749
Gimnospermas. *Véase también tipos específicos*
función de las semillas/estructuras, 410, 413, 889
panorama general, 410-11, 413-16
polinización, 889, 890
Ginkgos, 410, 413, 414
biloba (árbol del cabello de Venus), 413, 414
Girasol, 358
Giros, 584
Glaciares
derretimiento de, 574, 575
lechos de los lagos y, 598
Glándula(s)
bulbouretrales, 820, 822
endocrinas
funciones, 640, 746, 748
exocrinas, 640, 644
gástricas, 698
mamarias, 480, 482, 851
panorama general, 640-41
paratiroides, 743, 747, 751-752
salivales, 640, 695, 696
sebáceas, 640, 644
sudoríparas, 644
suprarrenales, 743, 747, 753-55
tiroides
funciones de la, 743, 747, 750-52, 757
regulación de temperatura y la, 639
Gliceraldehído-3-fosfato (G3P), 126, 135, 136
Glicerol, 44
Globulina, 658
Glóbulos rojos. *Véase* Eritrocitos; Leucocitos (glóbulos blancos)
GloFish, 266
Glomérulo, 711-12
Glucagón, 752
Glucocorticoides, 753
Glucógeno, 43, 103, 105, 143, 688
Glucólisis, 134, 135, 136, 142-43
Glucoproteínas, 84, 233, 235, 268
Glucosa
descripción/estructura, 39, 40, 41, 699
homeostasis y, 636
hormonas y, 752, 754
reacciones independientes de la luz, 125-26
Gnetofitas, 413-14
Golgi, Camillo, 71
Gónadas, 743, 820, 823, 848
Gondwana, 322, 345
Gonorrea, 378, 828
Goodall, Jane, 499
Gordon, Ian, 581, 607
Gorilas
cacería furtiva y, 618
fertilización *in vitro* (FIV) y, 815
Gorjeadores. *Véase* Currucas
Gorriones
aislamiento ecológico y, 318
de cresta blanca, 318
de pecho blanco, 318
territorialidad en los, 500
Gould, Kevin, 859, 883
Gould, Stephen Jay, 353
Gradiente(s), 85
de concentración, 85
Gran Barrera de Arrecifes en Australia, 603-4
Grana (cloroplastos), 74, 75
Grandes Lagos
especies introducidas/invasoras, 473, 537, 555, 600, 622
eutrofización, 600
Granjas
de peces, 261
"fábrica", 627
Gránulos de alimento (células procarióticas), 76
Grasas (triglicéridos)
almacenamiento de, 642, 686, 688
descripción/definición, 44, 45-46
energía, 143
leptina, 755
metabolismo de, 144
transporte de, 664, 665
Gravitropismo, 910, 913, 914
Griffith, Frederick, 150-51
Grillos, 318, 496, 819

Gripe aviar, 721, 734, 735, 738
Groenlandia (capa de hielo), 574
Grulla americana, población de, 518
Grupo(s)
  funcionales, 38
  monofiléticos y parafiléticos, 363
  R de aminoácidos, 48, 49, 50, 51
Guanina (G), 154, 155, 156-57
Guepardos, 482, 543, 591, 815
Guillemin, Roger, 749
Guisante/flor
  autopolinización, 223
  descripción de, 222-223
  herencia de rasgos, 223-229
  ingeniería genética, 252, 269
Gupis, 290, 502
Gurdon, John, 202, 842
Gusano(s) , 6, 454
  marino, 359
  planos/platelmintos
    deformidades de anfibios, 477
    descripción/rasgos, 444, 445, 446, 450-51, 670, 671, 708, 770
  redondos (nematodos)
    como presas de los hongos, 437
    descripción de, 444,447
    RNA y, 183
    visión general de , 462-63
  tubular, 606-7
  zombi, 606
Gusto
  olfato y, 789-90
  tipos receptores del, 789
  visión general del, 788, 789-90

H5N1 gripe aviar, 734, 735
Habituación, 491, 493
Haces vasculares (venas), 118, 119, 865
Haldane, John B. S., 332
Hantavirus, 722
Hardy, Godfrey H., 297-98
Heces, 701
Helechos
  alternancia de generaciones, 216, 412, 888, 889
  arbóreos (licopodios), 341, 342, 343, 410, 411
  de semilla, 280
  panorama general, 410
  tamaño, 411
Hélice, 49
Helicobacter pylori, 699
Helio, 22, 24
Hemisferios cerebrales, 777, 778, 779
Hemocele, 454, 650
Hemodiálisis (diálisis), 707, 714, 717
Hemofilia, 240
  en las familias reales de Europa, 241
  mutaciones, 179, 241
  síndrome de Turner, 241-242
  tratamiento para la, 261
Hemoglobina
  efectos de las mutaciones en la, 179-80, 239
  estructura de la, 51, 658
  funciones de la, 48, 658, 678-679
  gusanos tubulares, 607
  Machida, 179
  monóxido de carbono y, 678, 680
Hendiduras branquiales faríngeas, 471
Hepáticas, 407-408
Hepatitis B, 261
Herbicidas
  como perturbadores endocrinos, 627, 754
  efectos de los, 476-477, 627
  OGMs, 259, 266
Herbívoros
  coevolución, 546-547
  de África, 591-592
  defensas de las plantas, 416, 432, 546, 920
  definición/descripción de, 540, 562, 693-695
  rumiantes, 693-694, 701
Herencia. *Véase también* Trastornos genéticos; Mendel, Gregor
  alelos múltiples, 233-235
  base física de la, 222
  codominancia, 234-235
  de características adquiridas, 281
  de rasgos, 223-229
  definición/descripción de, 222
  determinación del sexo, 231
  dominancia incompleta, 233
  estudios con gemelos/influencia genética, 508
  evolución y, 289
  poligénica, 235-237
Heroína, 681, 769
Herpetólogos, 476
Herpes genital, 828, 852
Hershey, Alfred, 151-153
Heterótrofos. *Véase también* Consumidores, definición/descripción, 13, 561
Hibernación, 635
Híbridos, 222
Hidra/hidrozoos
  descripción/rasgos de, 448
  digestión, 693
  reproducción en la(los), 192-193, 195, 449
  sistema nervioso de la(los), 770
Hidrocortisona, 754
Hidrógeno, 22, 24
  enlaces del, 25, 28-33
  iones de
    fotosíntesis, 122-125
    pH-, 31-32
  sulfuro de, y fotosíntesis, 337, 375
Hidrólisis, 39, 42
Hielo
  derretimiento/calentamiento global, 574, 576
  patinaje sobre, 20-21, 33
  propiedades e importancia del, 20-21, 32-33
Hierro
  Arroz dorado y, 267
  citocinas y, 724-725
  sangre y, 657-658
Hifas
  definición/descripción, 424, 431, 437
  reproducción de, 425-430
Hígado
  funciones, 696, 698
  trasplantes/bioingeniería, 77
Hipermetropía, 786, 787
Hipertensión, 654, 656, 666
Hipertermia (insolación), 112, 637
Hipocampo, 776-777, 779
Hipocótilo, 897, 899
Hipófisis anterior
  función/estructura de la, 748, 749, 826
  hipotálamo e, 749
  panorama de la, 743, 747
Hipopótamos (pigmeos) y el comercio de la carne producto de la cacería, 618
Hipotálamo. *Véase también* Glándula pituitaria
  ADH, 715
  control
    de la temperatura corporal, 638, 639, 724
    hormonal, 639, 715, 748-749, 753, 776, 826
  estructura del, 748, 776
  panorama general, 743, 747
Hipótesis
  (método científico), 4-5
  "de Gaia", 17
  endosimbiótica, 73, 337-39, 389, 400
Histamina, 724-725, 733
Histoplasmosis, 434
Historia de la vida. *Véase también* Evolución; Evolución humana
  colonización de la tierra, 340-344, 406, 672, 889
  comienzo de la, 332-335
  comienzos de la diversidad animal, 340-341
  desacuerdo en los orígenes, 334
  extinción durante la, 344-346, 476, 615
  primeros organismos e, 335, 337-339
  tabla del tiempo geológico, 336
  visión religiosa de la, 332
Hojas
  adaptaciones especiales de las, 880-882
  colores otoñales de las, 858-859, 883
  función/estructura de las, 861, 865-866
Hombre, características sexuales del, *Véase también* región determinante del sexo en el cromosoma Y (SRY); genes de receptores de andrógenos, 184-86
Homeoboxes, 845
Homeostasis
  condiciones reguladas por la (resumen), 636
  definición/descripción de la, 11-12, 636
  retroalimentación negativa, 638
  sistema urinario y, 708-709, 715-717
  sudoración y, 13
  temperatura corporal/regulación, 11-13, 96-97, 344, 479, 636-639
Homínidos. *Véase también Homo*; Evolución humana; Humanos
  emigración de África, 351-352
  evolución de los, 347-349
  fósiles de, 347-351
  mantenerse en pie/caminar, 347, 349
Homo. *Véase también* Evolución humana; Humanos
  erectus, 348-349, 351-353
  ergaster, 348-350
  floresiensis, 330-331
  habilis, 348-349
  heidelbergensis, 348-351
  neanderthalensis (Neanderthal), 348-351
  pinturas rupestres, 350-351
  sapiens. *Véase también* Evolución Humana; Humanos
  tecnología de las herramientas, 349-350
Homólogos (cromosomas homólogos). *Véase también* Entrecruzamiento
  alelos/variabilidad genética, 207
  definición/descripción de, 197
  ligamiento genético, 229-230
  meiosis, 207-213
Hongo(s)
  alimentación con, 424, 426, 430, 432
  antibióticos a partir de, 434
  como descomponedores, 564
  como el organismo más grande, 206-7, 422, 423, 437
  como recicladores, 432-33
  con saco (Ascomycota), 426, 428, 429, 430, 432-36
  de clava (basidiomicetos), 426, 429-30, 433, 435, 436
  de repisa, 430
  disminución en número/tamaño, 435
  efectos sobre los humanos, 433-35

en el árbol de la vida, 364
en la alimentación humana, 112-13, 433, 435
enfermedades en las plantas por, 433
enfermedades humanas, 434
esporas de, 424-25
estructura, 424
evolución/árbol evolutivo, 425-26, 432
extinción de anfibios, 426, 476
parásito del olmo, 433
Penicillium/penicilina, 8, 305, 429, 434
principales grupos, 425-30
relación simbiótica, 430-32, 435, 873, 875
reproducción en, 206-7, 425, 426, 427, 428, 429-30
toxinas, 434, 436
Hooke, Robert, 64-65
Hormigas
de fuego, 541
mutualismo entre las, 549
panorama de las, 458, 459
Hormonas
adrenocorticotrópica (ACTH), 749, 756
antidiurética (ADH), 712, 715, 745-46, 750
células blanco y, 743, 745
del crecimiento, 749-50
de las plantas
descubrimiento de las, 912-913
duración del día/floración, 916-917
panorama general, 910-911
regulación del ciclo de vida, 911, 913-920
de los animales. *Véase también* Hormonas endocrinas; Sistema endocrino; *hormonas específicas*
anticoncepción y, 829-832
características de las, 742-746
células blanco y, 743-745
control de la espermatogénesis, 822
digestión y, 701, 702
estructuras en los mamíferos, 746-756
evolución de las, 756
funciones de las, 183-184, 640
glándulas mamarias/resumen, 747
invertebrados, 746
regulación de liberación de, 744-746
ritmo cardiaco y, 657
derivadas de aminoácidos, 742, 743
endocrinas
célula blanco, 743-44
definición/descripción de, 742-43
enlace de células blanco, 744
panorama general de los tipos, 742, 744
transporte de, 742
esteroide
estructura de, 744
receptores dentro de la celular y, 744, 745
transcripción y, 183, 184
estimuladora
de la tiroides (TSH), 749, 751
de folículos (FSH), 749, 753, 820, 822, 826, 827
de melanocitos (MSH), 749
gonadotropina coriónica (GC), 827
inhibidoras, 749
liberadoras, 749, 751
de gonadotropinas (GnRH), 820, 822, 826, 827
locales, 742
luteinizante (LH), 749, 753, 820, 822, 826-827, 829
paratiroides, 752
peptídicas
células blanco y, 743, 745
estructura de las, 742, 744
hipotálamo y, 748-750
Huella ecológica, 528, 533, 617-18, 619
Hueso(s). *Véase también* Sistema esquelético
calcio y, 752, 806, 808, 810
compactos, 806, 807
del oído, 782, 783, 784, 806
esponjoso, 806-7
estructura de los, 642, 806-7
fósforo y, 806
funciones de los, 805-7
osteoporosis, 810
pérdida ósea, 797, 807, 810, 811
remodelación de los, 797, 807-8
reparación de fracturas de, 808
Hughes-Fulford, Millie, 796
Humano(s), seres
características de los cordados en el embrión humano, 471
cerebro del, 480, 482
ciclo de vida diploide, 215
clasificación de los, 358
clonación de, 204
color de la piel, 235-237
importancia de las plantas en la vida de los, 405
variabilidad genética, 367
Humes, David, 714
Humo de segunda mano, 678-79
Humor
acuoso, 785, 786
vítreo, 785, 786
Huracán (es)
Katrina, 575, 602, 613-614
Ridge, Washington, 16
y calentamiento global, 574-575
Hurón de patas negras, 815
Hutchinson, Evelyn, 103
Hutton, James, 278, 280-282
Hyman, Flo, 220-221, 244

IGF-I (factor de crecimiento tipo insulina I), 804
Imagenología por resonancia magnética funcional (fMRI), 780
IMC (índice de masa corporal), 687
Implantación, 845
Importancia del ejercicio, 687, 737, 810
Impronta, 493-494
Incendios forestales
beneficios de los, 553, 911
calentamiento global, 575-76
deforestación por, 590
liberación de dióxido de carbono en los, 575
sucesión de, 550-53
Incompatibilidad
gamética, 319-20
mecánica, 319
Índice
calorífico, 637
de crecimiento, 514-15
de humedad y calor, 637
de masa corporal (IMC), 687
de mortalidad, 514, 517
Inducción y diferenciación, 844
Infecciones
del oído, 374
vaginales, 434, 825
Infertilidad híbrida, 320
Influenza (gripe), 721, 734, 738
Ingeniería genética. *Véase también* Organismos genéticamente modificados (OGM)
agricultura/plantas, 258-61
definición/descripción de, 252
hormona del crecimiento, 749-50
Ingestión, 15
Ingravidez, efectos de la, 796, 797, 803, 810-11
Inhalación, 680-681
Inhibición
competitiva, 111-12
por retroalimentación (producción de enzimas), 111
Inhibidores de neuraminidasa, 735
Inhibina, 822
Iniciación (trascripción), 172-173
Inmigración
crecimiento de la población en EU, 532
definición/descripción de, 514
Inmunidad, 729-731
mediada por células, 729, 730, 731
Inmunodeficiencia combinada severa (SCID), 265, 271, 735-36
Insecticidas, 112, 627, 629
Insecto(s)
camuflaje de los, 542-543
hormonas y, 746
muda, 746
palo, 554
panorama general, 457-459
polinización por, 416-417
respiración de los, 672-673
sistema excretorio de los, 708-709
sociales, 459, 504-505
tarea sociales de los, 459, 504-5
Inseminación artificial
para las especies en peligro de extinción, 815
para los humanos, 829
Insensibilidad a los andrógenos, 184, 185, 186
Inserción (tendón), 809
Insolación (hipertermia), 112, 637
Instituto Nacional de Salud (NIH), 687
Insulina, 264, 752
Integumentos, 895
Intensidad del estímulo, 768
Interacción(es)
de la comunidad. *Véase también* Competencia; Parásitos/parasitismo; Depredadores/depredación
importancia de las, 538
mutualismo, 547-48, 549
resumen de las, 538
simbiosis, 547-49
sucesión, 550-54
hidrofóbica, 30
Intercambio
concurrente, 674
contracorriente (gases), 672, 674
de gases
adaptaciones evolutivas para, 670-73, 675
branquias y, 672, 674
con sistemas respiratorios/etapas, 671
contracorriente, 672, 674
dióxido de carbono y, 670, 671, 674, 677-78, 679, 680
flujo masivo, 671
mamífero como modelo, 671
oxígeno y, 670, 671, 674, 677, 678, 679, 680
panorama general, 670, 671
requerimientos para, 670
Interfase, 194, 198-199, 201
Interferón, 725
Interneuronas, 770-771
Intestino
delgado
estructura/función, 696, 698, 699-701, 755

longitud del, está correlacionada con la dieta, 694
grueso, 696, 701
Instituto Rockefeller, 267
Insuficiencia venosa, 454
Intoxicación por alimentos (botulismo), 374, 378
Intrones, 174-175
Inundación del río Missouri, 613-614
Inversiones (mutación), 162-163, 179
Investigación científica, 3-4
Invertebrados. *Véase también* Animales; *grupos específicos*; *invertebrados específicos*
como parásitos, 450-451, 458, 462, 463
comparación de los fila, 446-447
definición/descripción de, 445
hormonas en los, 746
panorama general, 445-464
Inviabilidad híbrida, 320
Invierno, 522
Inundaciones
El Niño, 584-85
servicios del ecosistema y, 600, 613
Inyección intracitoplásmica de espermatozoides (ICSI), 831
Ion(es), 25-26
cloro, 25-26
descripción de, 25-26
de sodio
hidróxido, 31
regulación en la sangre y los, 754-55
señales eléctricas en las neuronas y, 766-67
Iridio, 130
Iris, 785-786
Isla(s)
de Pascua, 512, 513, 514, 520, 532
especiación, 321
especies invasoras, 622
Galápagos, 282, 614
Isle Royale, Michigan, 550, 552
Isoleucina, 111
Isótopos, 22

Jacinto acuático, 541
Janzen, Daniel, 549
Jeffers, Robinson, 129
Jenner, Edward, 732
Jerarquía de dominancia, 498-99
John, Elton, 685
Juegos Olímpicos
doping, 133, 143, 145
EU 1986, voleibol, 221
prueba de sexo, 184-185
sustancias prohibidas y, 740-741, 757

Kellerman, John/Teresa, 836-837, 854
Kevlar, 261
Khayyam, Omar, 139
Kile, Darryl, 648-649, 666
Kinetoplástidos, 388, 392
Kinetoplastos, 392
King, Thomas, 842
Kirkwood, John, 669
Kiti, Priscilla, 581
Koalas, 481
Kohler, Wolfang, 492
Krebs, Hans, 139
Kudzu, 541
Kwashiorkor, 688-689

La Niña, 585
Labios, 826
Laboratorio
Cornell de Ornitología, 611
Olímpico de Análisis, UCLA, 741
Lactancia, 851-852
Lactasa, 113, 699-700
Lactosa, 42, 113, 699
intolerancia a la, 113, 700
operón, 181-182
Ladillas, 828
Lagartijas *Aristelliger*, 310
Lagartos
anolis, 291, 495
sagrei, 291, 478, 495
basilisco, 20-21, 33
comunicación de los, 495
desarrollo de los, 839
lagartija cola de látigo/partenogénesis, 816
panorama general, 478
regulación de la temperatura corporal, 636-637
Lago(s)
oligotróficos, 599
Victoria, 622
Lamarck, Jean Baptiste, 281, 887
Lámina basal, 640, 641
Laminilla(s), 674
intermedia (pared celular), 63
Lampreas (Petromyzontiformes), 472-473, 547, 622
Langostas, 458, 524, 549
Laringe, 675-676
Larsen, Eric, 624
Larvas, 458, 838
Latitud, 582
Laurasia, 345
Lawton, Robert, 878
Leakey, Mary, 347
LeClerc, George Louis (Conde de Buffon), 279
Lederberg, Joshua, 169
Lee, David, 859, 883
Leeuwenhoek, Anton van, 64-65, 77
Leguminosas, 875
Lemmings/ciclos de población, 516-517, 523-524
Lémures, 346
Lente, 786
Lenteja de agua, 416, 417
Leptina, 755
Leucemia, 12 de células T, 381
Leucocitos (glóbulos blancos)
cómo viajan los, 662
función/estructura de los, 94, 642, 643, 654, 657, 659, 722-723, 725-726
tipos de, 657, 659
Levadura. *Véase también* Hongos
reproducción asexual en la, 192, 195
uso en alimentos/producción de bebidas, 137-39
Ley(es)
de Especies en Peligro de Extinción, 577
de la distribución independiente
definición/descripción de la, 213, 216-217, 228-229
entrecruzamiento, 230-231
ligamiento, 229
de la segregación, 224
de la termodinámica, 102-3, 105, 108
de termodinámica, 102-105, 108
del Aire Limpio, (EUA/1990), 572
naturales, 3-4
Libélulas, 342, 838
LH (hormona luteinizante), 749, 753, 820, 822, 826-827, 829
Licopodios (pinillos), 341, 342, 343, 410, 411
Ligado de trompas, 829
Ligamentos, 641, 806, 809
Lignina, 406, 410
Ligre, 320
Lila azul silvestre, 554
Limbo (de las hojas), 865
Limitación de fertilidad/anticoncepción, 829-32
Lince, 597
Líneas Z, 800-01
Linfa, 642, 664-665
Linfocitos, 657, 659, 663, 726
Linfoma no Hodgkin, 261
Linnaean Society, Londres, 282
Linnaeus, Carolus (Linné, Carl von), 358, 445
Lipasa, 698
Lípidos, 44-47, 686, 688
Lipoproteínas
de alta densidad (colesterol HDL), 47
de baja densidad (colesterol LDL), 47, 654, 666
Líquenes
como especie pionera, 550
mutualismo, 430-432, 547-548
Líquido céfalo-raquídeo, 268, 773
Lisosomas, 72, 693, 821
Lisozimas, 723
Lista roja (IUCN), 616-17
Listeria, 378
Lobo(s)
clasificación de, 358
como antepasado del perro, 289, 290, 496
como un depredador clave, 624
comunicación entre, 495, 496
de Etiopía, 322
de taiga, 597
jerarquías de dominancia en los, 322
recuperación de los, 624
regulación de las poblaciones de presas de los, 522
selección natural en los, 290
Lóbulos, 777
frontales (corteza cerebral), 777, 781
temporales (cortezacerebral), 777, 779, 781
Locus/loci (gen), 196, 222
de genes homocigóticos y heterocigóticos
cruza de prueba, 227
herencia, 224-229
Logan, Stuart, 687
Lombrices de tierra
Generalidades en, 451-52
intercambio de gases, 671
reproducción, 817
sistema
circulatorio de, 650, 651
excretor de, 708, 709
Lorenz, Konrad, 493-494
Loto sagrado de Asia, 887, 899, 904
Lovelock, James, 17
LSD, 434
Luciérnagas, 496, 501, 546
Lupino azul (planta), 325
Luz. *Véase también* Fotosíntesis; Luz solar /energía solar; Luz utravioleta
como energía, 102
espectro electromagnético, 120-121
percepción de la, 768, 785-788
reflejo de la, 121
solar/energía solar
altera el color de la piel, 235, 236, 237
cantidad de energía y, 105, 117, 130, 560, 561
curvatura de la Tierra y su eje inclinado, 582-83
entropía, 103
longitudes de onda y, 582

todos los organismos dependen de, 105, 117, 130, 560, 561
transmisión de la, 121
ultravioleta
abejas y, 900, 901
agua para beber y, 570
cáncer y, 10, 190, 191, 217, 586, 737
capa de ozono y, 333, 582, 586
evolución prebiótica de la Tierra y, 333
mutaciones y, 163
radicales libres, 27-28
reducción de anfibios y, 476-77
vitamina D, 586
visible, 120-21
Lycopedon giganteum, 430
Lycopodium, 410
Lyell, Charles, 280-282
Lyon, Mary, 184

MacArthur, R., 539-540
MacLeod, Colin, 151
Macrocystis, 393
Macrófagos, 659, 724, 726, 738
Madagascar, 898
Mahadevan, Lakshminarayanan, 922
Maíz, tizón del (huitlacoche), 433
Mal
de Alzheimer, 27, 769
de Parkinson, 769
Malaria
anemia de células falciformes y, 239, 310, 547
causas de la/resistencia al medicamento, 394-395
DDT y, 566
hongos y, 433-434
sistema inmunitario y, 733
Malthus, Thomas, 283, 289
Maltosa, 42
Mamíferos. *Véase también mamíferos específicos*
corazón de los, 651
desarrollo de los, 839-840
evolución de los, 344, 480
feromonas, 502, 504
hibernación, 635
lista roja de la IUCN, 616
membranas embrionarias, 840
panorama general, 480-482
primeros fósiles, 344
Mandriles, 495, 504
Mangold, Hilde, 844
Mangostas, 622
Maniobra de Heimlich, 675, 677
Mantarraya, 474
Mantos acuíferos, 529, 570
Marcapasos, 656-657
Marea roja, 394
Mariposa(s)
Astraptes fulgerator, 317
azules de Karner, 325
coloración de sobresalto en las orugas de, 545
especies y apariencia, 317
Karner azul, 325
mimetismo en las, 544
monarca/oruga monarca, 544, 547
panorama de las, 458
regulación de la temperatura corporal en las, 636, 637
selva de Arabuko-Sokoke y, 580, 581, 607
toxinas y, 544, 546, 547
virrey, 544
Marshall, Barry, 699
Marsupiales, 480-481
Masa de células internas, 845
Mastocitos, 724, 726, 733
Materia gris, 773, 777
Matriz
mitocondrial, 74, 138-141
tejidos conectivos, 641
Mayr, Ernst, 320
McCarty, Maclyn, 151
McClintock, Martha, 507-508
McDonald, M. Victoria, 500
McLuhan, Marshall, 630
Mecanismo
de aislamiento
anteriores al apareamiento, 317-319, 320
definición/descripción de los, 317
posteriores al apareamiento, 319-320
resumen, 320
de deslizamiento de filamentos, 801
Mecanorreceptores, 782, 784
Medicamentos antivirales, 381
Medicina. *Véase también* Fármacos
biotecnología, 262-265, 661, 714, 716, 736, 749-750
evolutiva, 178
gusanos, 454
herbal, 413
sanguijuelas, 453
secuencia del genoma humano, 261-262
tratamiento para las enfermedades cardiovasculares, 654-655
Médula
espinal, 680, 775-776. *Véase también* Sistema Nervioso Central
daños a la, 773
equilibrio y, 774
estructura de, 770, 773, 774
funciones de, 771, 773-74
protección de la, 773
ósea
células sanguíneas y, 265, 658, 659, 806, 807
SCID, tratamiento para el, y, 735-36
sistema inmunitario y, 265, 725, 726
renal, 710
suprarrenal, 743, 747, 753
Medusa(s), 447-449, 670, 671
Megacariocito, 657, 659
Megaspora, 891, 895
Meiosis
comparación con la mitosis (resumen), 214
definición/descripción de, 195, 207-213
distribución independiente, 213, 216-217, 228, 229
eucariotas, 213-216
I, 208-213, 821, 825, 826
II, 208-209, 211, 213, 821, 825
importancia de los gametos haploides, 209, 210
no disyunción de cromosomas, 240-244
variabilidad genética, 206, 216-217
Mejillones, 454-455
cebra, 536, 537, 540, 555, 600, 622
Melanina, 238-239
Melanoma, 191, 217
Melatonina, 755
Membrana(s) . *Véase también* Membranas celulares
basilar, 783, 784
celulares. *Véase también* Membrana plasmática
efectos de venenos sobre las, 83-4
estructura de las, 82
modelo de "mosaico fluido", 82-83
origen de la vida y, 334
relación estructura-función, 82-84
resumen de funciones de las, 82
transporte a través de las, 85-88, 90-95
embrionarias, 840
mitocondriales, 74
mucosas, 641, 723
origen de la vida y, 334, 335
respiratoria, 677
tectorial, 783, 784
tejido conectivo y, 641
tienen permeabilidad selectiva, 87
timpánica (tímpano), 782, 783
Memoria
a largo plazo, 776, 778-779
de trabajo, 778-779
lóbulos temporales y, 779
recuperación de la, 779
Mendel, Gregor
antecedentes de, 222, 281
éxito de, 222-223, 231
impacto de sus estudios, 228
retrato de, 223
Meninges, 773
Menonitas, 304
Menopausia, 810
Menstruación, 825
Meristemo(s)
apical, 862, 871
laterales, 862
Mesencéfalo, 774-776
Mesodermo, 443, 444, 841
Mesófilo, 118, 119, 866
Metabolismo
aeróbico, 74
anaeróbico, 74, 375
calor como un subproducto del, 106
control celular del, 108-113
de la glucosa, 134, 142, 143. *Véase también* Transpiración celular; Fermentación; Glucólisis
definición/descripción de, 108
tiroxina y, 750-751
Metafase (mitosis), 198, 200
I (meiosis), 210-211
II (meiosis), 211, 213-214
Metamorfosis
anfibios, 477, 673, 694, 743, 756-757, 842
de la rana, 475-77
descripción de, 838-839
insectos, 458, 838-839
Metano, 573, 582
Metanol, 111
Meteoritos
edades de los meteoritos más antiguos, 338
extinción de los dinosaurios, 116-117, 130, 344, 346, 615
primera Tierra, 335
Meteorización y sucesión primaria, 550
Methanococcus jannaschi, 361
Metionina, 171-172, 176-177
Método(s)
científico, 4-5, 6-7
de barrera (anticonceptivos), 830
del ritmo, 830
Mendel y el, 226-27
Micelio, 424-425, 429-431, 437
Micólogos, 424-425, 435
Micorrizas, 432, 435, 873, 875
Micro "RNAs", 183
Microarreglos, 263-264
de DNA (humano), 263-64
Microbios, 371, 722. *Véase también microbios específicos*
Micrococcus, 372
Microfilamentos, 66

Microscopios, 64-65
electrónico, 64, 65
de exploración, 64, 65
de transmisión (TEM), 64, 65
Microsporas, 891-893
Microtúbulos, 66, 338. *Véase también* Microtúbulos del huso
del huso, 198, 200, 206, 210, 211-13
Microvellosidades, 95, 700, 789
Mielina, 763
Miller, Stanley, 332-333, 335
Milpiés, 460-461
Mimetismo
agresivo, 546
batesiano, 544, 545
definición/descripción, 544-546
mülleriano, 544
señuelos, 543, 546
serpiente coralillo, 477, 544-545
Mimosa (sensitiva), 921
Minerales
angiospermas y, 872-879
definición/descripción de, 688, 873
nutrición animal, 688-689
Miofibrillas, 800-801
Miosina, 800-801
Miriápodos, 460-461
Mitchell, Peter, 124
Mitocondrias
definición/descripción de, 73-74
estructura de las, 74, 138
euglenozoos, 391
excavados, 390
hipótesis endosimbiótica, 73, 337-339
respiración celular en las, 73-74, 134, 138-141
Mitosis
comparación con la meiosis (resumen), 214
definición/descripción de, 195, 198-201
en la célula animal (panorama general), 198-199
eucariotas, 213-216
fijación de los microtúbulos del huso, 211-213
Mixinos (Myxini), 472, 473
Moco
células calciformes y, 640-641
estómago y, 698
Modelo del mosaico fluido, 82-83
Mohos, 392
acuáticos (oomycetes), 388, 392
deslizantes, 388, 397-398
acelulares, 388, 397
celulares, 388, 398
Molécula(s)
biológicas. *Véase también tipos específicos*
membrana plasmática, 83-84
relación entre organismos y, 286-88
tabla resumen de las, 40
definición/descripción de, 2-3, 23
formación de, 23-25
hidrofílicas, 29
hidrofóbicas, 29-30
inorgánicas, 38
orgánicas
definición/descripción, 3, 38
en la evolución prebiótica de la Tierra, 332-333, 335
síntesis de las, 38-39
reguladora, 111
Molleja. 694, 695
Moluscos
branquias, 453, 455-456, 672
defensa química de los, 456, 546
descripción/rasgos de los, 444, 445, 447, 799
panorama general, 453-456
Monera, 360
Monocitos, 657, 659
Monocotiledóneas, 860-861, 870, 892, 896, 899-900
Monómeros, 39
Monos
aullador, 588-589
comunicación de los, 496
kipunji, 615
macaco de cola de león, 346
mono Palacio de oro, 328
VIH y, 367
Monosacáridos, 39-41, 688, 699
Monotremas, 480
Monóxido de carbono, 678, 680
Montañas
Adirondack, 572, 600
clima y, 584-585
Monte(s)
Kilauea, 551
Mitchell, Carolina del Norte, 572
Santa Elena, 346, 550, 551
Verdes de Vermont, 572
Morfina, 769
Morillas, 428-429
Morsas, 688
Mórula, 841
Mosca
azul, larvas de, 454
de la baya de nieve y mimetismo, 544, 546
de la fruta
clasificación de, 358
crecimiento de la población, 520, 521
Drosophila, 182, 232-33
gen homeobox y, 845
ojos compuestos de, 458
de las flores, 544-545
efímeras, 838-839
escorpión, 488, 489
tsetsé, 392
Mosqueros, 316-17
Mosquitos
Anopheles, 394-395
comunicación de los, 496
Movimientos de segmentación, 700
MRNA. *Véase* RNA Mensajero
Muda/mudar, 457, 746
Muestreo de vellosidades coriónicas (MVC), 268, 269
Mühlegg, Johann, 132-133
"Mujeres barbudas", 755
Mulas, 320
Mullis, Kary B., 255-256, 271
Muntjac gigante, 315, 328
Murciélagos, 481
agente anticoagulante en los, 655
antagónicos, 805, 808-809
ATP y, 801-803
atrofia por desuso, 797, 804
calcio y, 802-803
contracción rápida/lenta, 803
control de la contracción, 802
dispersión de las semillas por parte de los, 898
ecolocalización, 481, 482, 540, 543, 790, 791
Músculo
antagónicos, 805, 808-9
cardiacos, 642, 652, 653, 799, 804
esquelético
capacidad atlética y, 803
contracciones y, 800-803
estructura y función del, 800
visión general del, 642, 643, 799, 800
extensores, 809
flexores, 809
gen de miostatina y, 149, 157, 163, 179, 206
genética y, 803
liso, 642-43, 799, 804
mecanismos de los, 798-804, 808-809
para el vuelo, 799
parálisis y, 803
terapia genética y, 803-804
Museo Oceanográfico de Mónaco, 387
Musgos
alternancia de generaciones, 889
panorama general, 407
Sphagnum, 407-408
Mutación(es). *Véase también* Trastornos genéticos
benéficas, 163
cáncer, 10, 208-209, 217
categorías de, 179-180
definición/descripción de, 9-10, 158, 179, 298
duplicación del DNA, 185, 298
en el gen receptor de andrógenos, 184-186
en virus, 381, 734
envejecimiento, 185
enzimas y, 110, 113
evolución y, 178, 180, 207, 216, 298-299
experimentos de *Neurospora*, 168-169
fisión binaria, 376
frecuencia de alelos, 298-299
frecuencia de las, 163
función de los genes, 179-180
heredadas/importancia, 298-299
hereditaria, 10
no dirigidas hacia una meta, 299
origen de la vida y, 334
poliploidía, 326
por deleción, 162-163, 179, 185
por inserción, 162-163, 179, 185
por rayos X, 169
prevención de las, 158, 163
propiedades hidrofílicas/hidrofóbicas, 179-180
puntuales, 163, 179-180, 185
rayos X, 169
selección natural y, 291
tipos de, 162-163
Mutualismo
definición/descripción, 391, 547-549
relaciones mutualistas obligadas, 549

Nacimiento. *Véase* Parto
NAD^+ (dinucleótido de nicotinamida y adenina), 107, 135-138
NADH
en la fermentación, 136-138
en la glucólisis, 135-136
en la respiración celular, 140-143
NADPH
descripción, 120
reacciones
dependientes de la luz, 122-125
independientes de la luz, 125-126
Naranjas y clonación, 202
Narciso
arroz dorado y, 267
bulbos, 882
Nativos inuit, 566
Nautiloides, 340-341, 456
Neanderthales, 348-351
Nefridioporo, 709
Nefridios, 452, 709
Nefronas, 710-715
Nefrostoma, 709

Nemátodos. *Véase* Gusanos redondos (nemátodos)
Neomicina, 178
Nervio(s)
definición/descripción de, 762
óptico, 787
periféricos, 771
Neufeld, Peter, 251
Neurobiología del amor, 760-761, 780, 792
Neuronas (células nerviosas)
comunicación en sinapsis, 764-765, 767
funciones/estructura de las, 643, 762
integración/recapitulación, 762, 764
iones/señales eléctricas en las, 766-767
motrices, 770-771, 802
producción de voltaje eléctrico, 762-763, 766-767
sensoriales
dentritas de las, 762
funciones de las, 770, 771, 774
Neurotransmisores
canales de iones y, 767
definición/descripción de, 762
detener la acción de los, 764
drogadicción y, 769
enfermedad y, 769, 781
mecanismo de los, 742, 764, 765, 767
variedades de, 764, 767
Neutrones, 22
Neutrófilos, 657, 659, 724, 726
Nexia Biotech, 261
Nicho ecológico, 538-40
Nicolson, G.L., 82-83
Nicotina. *Véase también* Fumar
adicciones, 681, 769
desintoxicación/eliminación del cuerpo, 698, 716
embrión humano y, 848, 852
Nitrógeno
bacteria fijadora de, 376-377, 548, 875, 882, 909
ciclo del, 568-569
daños por, 571, 922
desechos nitrogenados, 709-710
importancia biológica del, 568
ley del Aire Limpio (EU/1990), 572
necesidades de las plantas, 873
plantas carnívoras (de rapiña) y, 882, 909, 922
Nivel(es)
de organización de la materia, 2-3
trófico
definición del, 562
transferencia de energía de un, 564-65
No disyunción, 240-244
Nodo(s)
auriculoventricular (AV), 656, 657
linfáticos (ganglios), 663, 665
Nódulos, 867, 875
Nombres científicos, 14, 328, 358
Noradrenalina (norepinefrina), 753, 769, 771
Nordby, Erika, 634-635, 638, 644, 646
Notocordio, 471, 841
Núcleo
accumbens, 761
atómico, 22-23
celular, 14, 67-69
Nucleoide, 76
Nucleolo, 69
Nucleótido(s), 53-54, 154
de desoxirribosa, 53
de ribosa, 53
libres, 158
sustituciones de (mutaciones puntuales), 162-163, 179-180, 185
Nueces de Brasil, 268
Nueva York (ciudad), 615, maratón de, 100-101
Número atómico, 22
Nutria marina, 549-50, 603
Nutrimentos
definición/descripción de, 13, 567, 873
en ecosistemas acuáticos, 598
en la selva tropical, 588-589
guías nutricionales, 691
información en etiquetas sobre los, 691
necesidades de
las plantas, 873
los animales, 686, 688-691
su importancia para la vida, 585

Obesidad
acceso a la comida, 144, 686-687, 691
alimentos sintéticos, 41
cirugía para la, 687
genética y, 687
leptina y, 755
problemas de salud con la, 654, 687, 756
Observación (método científico), 4-5
Océanos
comunidades en el lecho oceánico, 606-607
ecosistemas marinos, 601-607
elevación del nivel del mar, 574
mecanismos flotantes de las formas de vida, 605
red alimentaria de los, 605
vida en mar abierto, 605-606
zonas de vida, 602
Oficina Humanitaria para el arroz, 267
OGM. *Véase* Organismos genéticamente modificados (OGM)
Oído, 782-784. *Véase también* Sonido
anatomía/partes del, 782, 783
daño por sonido intenso, 784
pérdida del oído, 784
sensibilidad al sonido, 784-85
Ojos. *Véase también* Visión
anatomía, 786
compuestos, 458, 785
enfoque, 786, 787
miope, 786
ojo humano, 786, 787-88
ojos compuestos, 785
percepción de luz (mamíferos), 785, 786, 787-88
reflejo de la luz, 785, 787
sensibilidad a la luz, 787-88
visión del color, 787-88
Olfato
visión general del, 788-89
gusto y, 789-90
Olestra, 41
Oligoquetos, 453
Omaso, 694
Omatidias, 785
Omnívoros, 564, 693, 695
Oncogenes, 208
Oomicetos (mohos acuáticos), 388, 392
Oparin, Alexander, 332
Operador en el operón, 181
Opérculo, 672, 674
Operones, 181-182
Opio, 769
Opioides, 769
Orden (clasificación), 14, 358
Organelos, 11, 63, 337-339
Organismo(s)
definición/descripción de, 2-3
genéticamente modificados (OGM)
agricultura/plantas, 258-61, 266-70
animales, 261, 266, 268, 270
arroz dorado, 2, 267
controversia sobre, 266, 267, 268-70
definición/descripción, 252
efectos ambientales, 261, 269-70
estadísticas de uso, 258-59
regulación, 270
seguridad alimentaria, 266, 268-69
tratamiento de cultivos/resumen de ventajas, 259
hermafroditas, 450, 452, 817
huésped, 380, 450, 522-523, 547
más grande, 206, 422-423, 437
multicelulares
definición/descripción de, 15
evolución de los, 339-340
tetraploides, 326, 327
transgénicos. *Véase también* Transgénicos u organismos genéticamente modificados (OGM)
como animales, 261, 266, 268, 270
definición de, 252
triploides, 326, 327
unicelulares, 15
definición de, 15
limitaciones por el tamaño de los, 339
Organización de las Naciones Unidas
crecimiento demográfico y, 528, 529
"el hombre y la biosfera", programa de la, 626
para la Alimentación y la Agricultura, 614
Organización Mundial de la Salud
carencia de vitamina A y, 267
DDT y, 566
virus de la influenza y, 734
viruela y, 732
Organogénesis, 841-842
Órganos
de bioingeniería, 77
definición/descripción de, 2-3, 639-640, 643
sensoriales. *Véase también* Receptores sensoriales
sistemas de, 2-3, 639-640, 644-645
trasplantes de, 77, 434, 635, 706-707, 712, 714, 717
Orgasmo, 826
Origen (tendón), 809
Origen de las especies por medio de la selección natural, El, (Darwin), 282, 288-289, 292, 307, 358
Orina
concentración de la, 713, 714-15, 716-17
definición de, 709
formación de la, 710-15
regular el agua y la, 715
Ornitólogo, 320
Orquídeas, 589, 902
Orrorin tugenensis, 347-348
O'Shea, Steve, 465
Osmolaridad de los solutos (sistema urinario), 708, 712-713, 715
Osmorregulación, 716
Ósmosis
a través de la membrana plasmática, 90-92
definición/descripción de, 72-73, 88, 90
fuerza osmótica, 88
vacuolas contráctiles, 72-73, 91
Osos
pardos, 558, 624
polares, 576, 839
Osteoblastos, 807-808, 810
Osteocitos, 807-808
Osteoclastos, 807-808, 810
Osteones (sistemas harvesianos), 807

Osteoporosis, 810
Osteoprotegerina (OPG), 810
Otis, Carré, 684-685, 703
Ovarios
de las plantas que florecen, 416, 892, 896
función/estructura de los, 823-824
hormonas y, 743, 747, 753
Ovocito secundario, 823, 824, 825, 827
Ovogénesis, 823-824
Ovogonias, 823, 825
Ovulación, 819-820, 824
Óvulo(s), 416, 418, 892
control hormonal, 749
definición/descripción, 817
fecundación/recorrido de, 847
plantas, 895
producción de, 823-24, 825
Oxalacetato, 139-141
Óxido de hierro (herrumbre), 337
Oxígeno. *Véase también* Sistemas respiratorios
anaerobios y, 375
como reactivo, 24, 129
evolución animal y, 129
fotosíntesis, 124-125, 337, 405
homeostasis y, 636
modelo atómico, 23
porcentaje en el aire/agua, 672
Tierra primigenia y, 332-333, 335, 337, 400
Oxitocina
alumbramiento/lactancia y, 639, 742, 746, 750, 851-852
formación de parejas/amor y, 761, 792
Ozono, 333
agujero en la capa de, 586
evolución prebiótica de la Tierra, 333
luz UV, 333, 582, 586

Paine, Robert, 549
Painter, Theophilus, 167
Pájaro(s)
carpintero(s)
belloteros, 499
de pico color marfil, 610-611, 616, 620, 629
fragata, 479, 501
satinado, 501
Paleoantropólogos, 349
Paleontólogos, 130, 331, 335, 344, 346-348
Palomilla(s)
camuflaje de las, 542
coloración de sobresalto (palomilla pavo real), 545
del nopal, 523
feromonas, 497, 502, 504
murciélagos y, 540, 543
panorama general, 458-459
polilla gitana, 497, 523
polinización y, 902
Pan y levadura, 137, 138, 139, 435
Páncreas
funciones del, 696, 698-699, 752
jugo pancreático, 699
panorama general, 743, 747, 752
Panda gigante, 815
Pandemias, 734-735
Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), 574
Pangea, 345
Panteras, 620
Papilas gustativas, 697, 789
Parabasálidos, 388, 391
Parabronquios, 675
Parálisis (médula espinal), 773-774
Paramecium
algas fotosintéticas y, 339
cilios, 66-67, 395-396
como presa, 396
complejidad del, 395-396
imágenes del, 65
nicho ecológico/exclusión competitiva, 538-539
reproducción, del, 390
simbiosis, 339
vacuolas contráctiles del, 72-73
Parásitos/parasitismo
definición/descripción de, 450, 522, 547, 722
deformidades anfibias, 477
huéspedes, 523
invertebrados como, 450-451, 458, 462-463
lampreas como, 473
panorama general, 547
plantas como, 402-403, 419
protistas como, 390-392, 394-395, 397
Paratohormona, 808
Pared(es) celulares, 63
secundaria, 63
Parénquima, 863
Pares de bases complementarias (DNA)
decodificación de información genética, 176, 177, 178
definición/descripción, 154-55, 156-57
"extremos pegajosos"/organismos genéticamente modificados, 260
sondas de DNA, 257-58
Parque Nacional de los Glaciares, 574
Parque Nacional Big Bend, 626
Parque Nacional Olímpico, 16, 596
Parque Nacional Yellowstone
bacteria en aguas termales en el, 256, 271, 374-75
recuperación de un depredador en el, 624
Partenogénesis, 816-817
Participación de recursos, 539-40
Parto, 850-851. *Véase* alumbramiento
descripción, 850-51
dificultades del, 854
hormonas y, 639, 742, 746, 750, 851
sistemas de retroalimentación positiva, 639, 746
Pasteur, Louis, 8, 89, 332, 732
Pastizales (pradera)
descripción del bioma, 594, 595
efectos de las actividades humanas, 594-95
incendios, 594
redes alimentarias, 563
Pasto búfalo, 306-7
Pastoreo excesivo, 520-521, 528-529, 553, 593-595
Patas (gasterópodos), 454, 455
Patiño, María José Martínez, 184
Pato hawaiano, 322
Patógenos, 722. *Véase también patógenos específicos*
Patos, 322
Pauling, Linus, 156
Pavo real, 309
PBDEs (éteres difenílicos polibromados), 754
PCBs (policloruros de bifenilo), 754
PCR (reacción en cadena de la polimerasa), 255-256, 269, 365
Peces
arrecifes de coral, 604
búsqueda de pareja, 502, 503
camuflaje/mimetismo de, 542, 543, 546
cartilaginosos, 473-74
cíclidos, 324, 622
cirujano azul, 604
con mandíbulas, 473-75
contaminación por mercurio, 566, 572
corazón de, 651
de las profundidades del océano, 606
de océano abierto, 605
depredadores, 473-74
espinosos, 500, 502, 503
exhibiciones agresivas (blenias), 498
experimentos de territorio, 500
Glofish, 266
intercambio contracorriente (gases), 672, 674
óseos, 474-75
osmorregulación, 716
payaso/metalismo, 548
pesca excesiva/efectos, 474-75, 484, 529, 550, 600, 605, 618, 625
Presa de las Tres Gargantas, 600
reproducción, 816, 818
sin mandíbulas, 472-73
transgénicos, 261, 266, 268, 270
Pecíolo, 865
Pectina, 63
Pelagra, 689, 691
Pelícano pardo, 566
Pelo(s)
absorbentes, 866
"carne de gallina", 644
descripción/estructura, 48, 52
"erizado", 644
herencia de la textura, 233
radiculares, 872
sexuales (bacterias), 76, 376
vello corporal humano, 292, 644
Pelomyxa palustris, 339
Pelvis renal, 710
Pene
erección, 825-826
eyaculación, 826, 828
pubertad, 820
Penfield, Wilder, 779
Penicillium/penicilina, 8, 305, 429, 434
PEP (fosfoenolpiruvato), 128-129
Pepinos del mar, 463
Pepsina, 109-110, 112, 698
Pepsinógeno, 698
Peptidasas, 699
Péptido, 49, 169, 698
auricular natriurético (ANP), 755
inhibidor gástrico, 701, 702
Peptidoglicano, 372
Perca del Nilo, 622
Percebes, 461, 520, 521, 540, 547
Percepción
de la intensidad, 784
del dolor, 790
Perennifolias. *Véase también* Coníferas
Perfil de DNA, 258
Periciclo, 871, 874
Peridermis, 862
Periodo(s)
cámbrico, 336, 340
carbonífero, 336, 341, 342, 343, 410, 411, 572
cretácico, 130,336, 343, 476
devónico, 336, 342
jurásico, 411
pérmico, 336, 342-343, 410
silúrico, 336, 340, 341, 342
Periostio, 808
Periquitos, 320
Peristaltismo, 697-698, 701-702
Peritoneo, 714
Permafrost o permahielo
definición/descripción de, 598
derretimiento del, 574

Perro(s)
  dispersión de semillas por, 903
  diversidad de, 147, 289, 290
  estructura ósea, 811
  glándulas odoríferas, 504
  lobos y, 289, 290, 322, 496
  trufas y, 436
Perturbación, 550, 551
Perturbadores endocrinos/efectos, 566, 627, 754
Pesca excesiva
  comercio de la carne de cacería, 618
  efectos de la, 475, 529, 549-550, 600, 605, 625
Peste bubónica ("peste negra"), 378, 384, 527, 566
Pesticidas. *Véase también* DDT; Herbicidas; Insecticidas
  anfibios y, 477
  ecdisona (hormona de la muda) y, 746
  enfermedades, 566
  OGMs, 266, 269
  regulación de la población por, 522
  resistencia a los, 291
Pétalos, 892
Pez (peces)
  con aleta lobular, 342-343, 475
  gobio, 540, 555
  pulmonados (Dipnoi), 475
  rana, 543, 546
  saltarín de fango, 343
Pfisteria, 394
PGA (ácido fosfoglicérico), 126
PH
  del estómago, 112, 698, 702
  efectos sobre la actividad enzimática, 112
  escala de, 31
  homeostasis y, 636
  panorama general, 31-32
Physarum, 397
Picabuey de pico rojo, 591
Piel, 644
  artificial, 56, 57, 77
  bioingeniería de la, 57, 77
  cáncer de la, 10, 190, 191, 217, 586, 737
  color de la, 235, 236, 237
  como órgano, 643-44
  estructura de la, 643, 644
  funciones de la, 643, 644, 723
  tacto y, 782, 783
  tejido conectivo y la, 641
Pies tubulares, 463, 464
Píldora(s)
  anticonceptivas, 829, 830, 831
  de la mañana siguiente, 831
Pinturas rupestres, 350, 351
Pingüinos
  de Adelia/calentamiento global, 576
  ejemplo de energía, 102
Pinzones
  cascanueces de vientre negro, 310
  de Darwin, 281, 282, 324, 540
Piojos, 828
Pirámides de energía, 564-65
Pirámide de biomasa, 565
Pirógenos endógenos, 724
Placa celular, 201
Plaga del castaño, 433
Planta(s)
  C_4, 128, 129
  con semilla tipo
    angiospermas, 406, 410, 416-19
    gimnospermas, 407, 410, 413-16
    rasgos distintivos de las, 410
    visión general de las, 410, 413-19
  de algodón y gen *Bt*, 259
  de floración. *Véase* Angiospermas
  de lupino, 16, 325
  de noche
    corta, 916, 917
    larga, 916-917
  de raza pura,223, 224, 225
  neutral al día, 916
  marchitamiento de, 91-92
  silversword, 324, 325
  vasculares
    briofitas al igual que las, 410
    con semilla, 410, 413-19
    sin semilla, 410, 411, 412
    vasos de las, 410
    visión general de las, 407, 410, 411, 412
Plásmido Ti (inducción de tumor), 260-61
Población
  en equilibrio, 298
  europea/RLF, 530
  mínima viable (PMV), 620
Polimorfismo(s)
  de la longitud del fragmento de restricción (RFLP), 262, 263, 269
  equilibrado, 310
Polinización
  cruzada, 223
  de los abedules, 417
  en pastos, 417
Polos del huso, 198, 200
Porción
  conductora (del aparato respiratorio), 675-76
  de intercambio gaseoso (sistema respiratorio en los vertebrados), 675, 676-77
Poros nucleares, 68
Portador(es)
  de electrones. *Véase también* funciones específicas de los portadores, 54, 107
  definición/descripción, 238
  identificación de los, 244, 262, 268
Potencial
  biótico, 514, 515
  de acción
    contracción muscular y, 802
    definición/descripción de, 762, 765
    determinación del tipo de estímulo y, 768
    intensidad del estímulo y, 768
    sucesos eléctricos durante el, 763, 766-67
  de receptor, 781-82
  de reposo, 763, 766
  postsináptico
    de excitación (PPSE), 764, 765, 767
    de inhibición (PPSI), 764-765, 767
Poza génica, 297
Pradera de pastos
  altos, 553, 594
  bajos, 595
Precipitación fluvial. *Véase también* biomas
  biomas y, 587, 588, 598
  causas de la, 583
Presa de las Tres Gargantas, efectos en, 600
Presión
  arterial
    hemorragia y, 662
    hipertensión, 654
    medición de la, 653, 656
    regulación de la, por parte de los riñones, 715-16
  de turgencia, 73, 91
  diastólica, 653, 656
  sistólica, 653, 656
Primera
  de Hardy-Weinberg, 298
  generación filial (F_1), 223, 224, 225, 232-33
  ley de la termodinámica (ley de conservación de la energía), 102
Primordio foliar, 867
Principio de exclusión competitiva, 538, 539
Productividad primaria neta, 561
Programa de Biotecnología de la Comunidad Europea, 267
Prosencéfalo (cerebrum), 774, 775
Proteína(s) *p53*
  anticoagulante, 655
  de canal, 84, 87, 88
  de reconocimiento, 84, 89
  desnaturalizadas, 51, 138
  de transporte, 84, 92
    de cloro, 234, 262
  de unión, 84
  forma mutada/efectos de la, 208-209, 217
  funciones de la, 206, 208
  G, 743
  portadoras, 84, 87, 88
  Rb
    efectos de mutaciones, 206, 208, 209
    funciones de la, 206, 208
  receptoras, 84, 93
  represora, 181, 182
Proyecto
  BIOPAT, 328
  de Inocencia, 251, 271
Pruebas
  de DNA
    ciencia forense y, 256-58
    uso médico y, 262, 263-64
  de paternidad, 268
Puentes disulfuro, 48, 50-51, 52
"Pulgarcito", (Charles Stratton), 749
Pulmones
  con fibrosis quística, 234
  descripción/función de los, 672
  efectos del tabaquismo, 676-679
  grupos animales con, 672-673, 675
  mecanismo de respiración, 680-681
Pulpos, 456, 604, 770
Pumas/jaguares
  corredores para, 623, 624-25
  fragmentación del hábitat, 620
Punto(s)
  ciego, 787
  de control (ciclo celular), 204, 205, 206
    metafase a anafase, 204-206

Quelpo, 393, 602-603
Quemaduras, víctimas de, 56, 57
Queratina, 48, 51-52, 640, 644
Quesos, 138, 139, 435
Quiasma, 210-11, 212
¿Quién cuidará de la Tierra? (IUCN), 628
Quilífero, 700-701
Quilomicrones, 700-701
Quimiósmosis, 123, 124, 141-42
Quimioterapia, 737
Quimo, 698, 700, 702
Quinasas, 204
  dependientes de ciclina (Cdk's), 204-6, 208, 217
Quiste
  de tenia o solitaria, 450-51
  definición de, 391
  Giardia, 390-91
Quitina, 44, 424, 456, 672

Rabia, 732
  por esteroides, 757

Rábula, 454, 455
Radiación adaptativa, 324, 325, 326, 340
Radicales libres
  definición/descripción, 27, 150, 690
  efectos de, 27-28, 854, 883
  respuesta de las células ante, 183
Radiolarios, 388, 396-97
Rafflesia, 419 *arnoldii* con olor putrefacto, 402-403, 419
Raíces de las plantas,
  adaptaciones especiales, 880
  función/estructura de, 860-61, 870-73, 874
  hormonas y las, 914-16
Raíces secundarias, 871
Ramas del tallo, 867-68
Ranas. *Véase también* Anfibios
  aislamiento de comportamiento, 319
  coloración
    de advertencia (rana flecha venenosa), 544
    de sobresalto (rana de ojos falsos), 545
  desarrollo, 841, 842
  extinción de, 426, 476-77
  homeostasis, 636
  inviabilidad del híbrido, 320
  "llamada de liberación", 319
  muertas y moribundas, 476-77
  ojos dorados, 589
  reproducción, 319, 818
  sistema digestivo, 694
Raquitismo, 689, 691
Raskin, Ilya, 920, 921
Rasputín, 241
Rata(s)
  canguro, 592, 636, 717
  como animales de investigaciones en los laboratorios, 483
  topo desnudas, 505-06
Ratones de las praderas, 760, 761, 792
Rayas, 473-74
Razonamiento
  deductivo, 9
  inductivo, 8-9
Reabsorción tubular, 711, 712-13, 715
Reacción(es)
  acopladas, 105-7
  centro de, (fotosistema), 121-122
  endergónica, 104, 105
  químicas, 25, 103-4
    y reactivos, 103
  exergónicas, 103, 104, 105
Receptores
  de células T, 726, 727, 728
  del dolor, 790
  olfatorios, 788-789
  específicos
    definición de, 742, 781
  sensoriales
    definición de, 781-82
  tipos de, de los vertebrados, 782
Recombinación
  genética, 211, 212, 230, 252, 817
  genes de anticuerpos y, 728
Reconstrucción
  de un bosque cretácico, 343
  filogenética, 362-363
Recto, 696, 701
Red(es)
  alimentarias, 562, 563, 564, 605
  nerviosa, 447-448, 770***
Redi, Francesco, 4, 6, 332
Reflejo(s), 770, 774
  de evitación del dolor. 770, 774
  de secreción de leche, 750, 852
  rotuliano, 770
Reflujo ácido, 697
Refugio Nacional de la Vida Silvestre Río Cache, Arkansas, 611
Regeneración, 816
Región
  constante (anticuerpo), 726, 727
  variable (anticuerpos), 726-727
"Registro de fósiles", 340
Regla
  de Chargaff, 154, 156
  del octeto, 22
Regulación alostérica, sitio de, 110-11
Reina Victoria, 241
Reinos
  clasificación aún no totalmente establecida, 361, 364, 392-393
  panorama general, 14, 358
Reloj biológico, 917
Renina, 715, 755
Reno, 520, 521
Repeticiones cortas de Tándem (STR), 255-56, 257-58, 271
Reproducción. *Véase también* Reproducción asexual; Tecnología Reproductiva Asistida (TRA); Reproducción sexual; específico organismos/grupos
  adaptación de la vida en la tierra y, 340, 341-42, 343, 889
  asexual
    ciclo haploide de vida, 213, 215
    definición de "especie" y, 316, 364-65
    definición/descripción de, 192-93, 816-17
    en las plantas, 192, 193, 880, 881, 888
    fisión binaria, 193-94, 375-76
  de animal. *Véase también* reproducción asexual; reproducción sexual
    melatonina y, 755
    rituales de cortejo y la, 818
    visión general de, 816-20
  de las plantas. *Véase también* Flores
    adaptación de la vida en la tierra y, 341-42, 889
    animales que transportan el polen y, 342, 406-7, 416, 417, 458, 857, 887, 900-05
    asexual, 888
    función y estructura de las flores (visión general) y, 889-96
  humana
    cópula y 825-29
    técnicas anticonceptivas y, 830
    visión general de 820-29
  selectiva. *Véase también* Historia de la ingeniería genética, 252
  sexual. *Véase también* Meiosis; Reproducción (animal)
    ciclo de vida y, 213,215-16
    definición de la, 195, 816
    variabilidad genética fomentada por la, 207, 211, 212, 213, 216-17, 817, 888
  teoría de la evolución y, 288, 289
Reptiles
  aves y, 344, 477, 478-79
  como grupo parafilético, 363
  corazón de los, 651
  elementos distintivos de los, 478
  evolución de, 343-44, 478
  mamíferos y, 344
  membranas embrionarias y, 840
  respiración y, 672, 673
  visión general de los, 477-79
Reserva(s) (nutrimentos), 567
  de la biosfera, 626
  núcleo, 623, 626
Resfriado común, 721, 722, 730
Resistencia
  a los antibióticos. *Véase también* Resistencia a los medicamentos
    descripción de, 10, 178, 253, 310, 311, 73
    en los hospitales, 294
    mutaciones y, 178, 299
    penicilina y, 305
    plásmidos y, 76, 253
    tuberculosis resistente a medicamentos múltiples, 295, 311
  a los fármacos. *Véase también* Resistencia de las bacterias a los antibióticos, 10, 178, 253, 295, 299, 305, 310, 311
    malaria, 394-95
    "súper gérmenes", 295
  ambiental, 514, 518, 520-22
Respiración
  celular
    ATP, 74, 134, 136, 137, 138, 140, 141-42, 143
    descripción de la, 139-42, 670
    interconexiones fotosintéticas, 118
    oxígeno y, 138, 145, 670
    reacciones de la matriz mitocondrial /diagrama de pasos, 141
  mecanismo de la, 680,681
  regulación de la tasa de, 680
Respuesta(s)
  a estímulos, 13
  inflamatoria, 723-725
  inmunitaria. *Véase también* Sistema Inmunológico
    definición/descripción, 722, 726
Retículo, 694
  endoplásmico (RE)
    descripción/función, 69, 70, 71-72
    liso, 69, 70, 71
    rugoso,69, 70-71
  sarcoplásmico, 800, 801
Retina, 785, 786, 787
Retinoblastoma, 206, 208
Retroalimentación negativa
  acidez estomacal, 702
  ciclo menstrual, 827
  control de la temperatura corporal y, 638
  número de glóbulos rojos y, 659
  panorama general, 638-639
  regulación hormonal, 745-746, 751-752
Retrovirus, 382, 383, 736
Revolución
  agrícola, 353, 526-27
  industrial, 353, 527, 571-572
  médica, 527
  Rusa, 241
Rhagoletis pomonella, 323-24
Rhizopus (moho negro), 426, 4227
Ribosa, 41
  nucleótido de, 53
Ribosoma, 176, 334. *Véase también* RNA ribosómico; Traducción
  de bacteria, 76
  definición de, 69, 170
  localización de, 69, 174
  RNA y, 69, 169, 170, 176
  síntesis de proteína y, 61, 69, 71, 176,177, 178
Riesgos de los viajes espaciales, 796, 797, 810-11
Rinocerontes
  comercio de carne de animales salvajes como la de los, 618
  como especies en peligro de extinción, 308,591, 592, 819-20
  cuernos de, 592, 620
  reproducción de, 819-20

Riñones
diálisis (hemodiálisis), 707, 714, 717
diferentes climas y, 716-717
estructura de los, 710
fallas en los, 706-707, 712-714, 716-717
funciones de los, 709-716, 743, 747, 753-755
trasplantes de órganos, 706-707, 712, 714, 717
Río(s)
descripción de, 600, 601
efectos de las actividades humanas en los, 600, 613, 614, 616
Kissimmee, 616
Mississippi, 613-614
Ripple, William, 624
RISC ("complejos silenciadores inducidos por RNA"), 183
Ritmo cardiaco, 657
Rizoides, 407
Rizomorfos, 423, 437
RNA. *Véase también* Transcripción; Traducción
comparación entre el DNA y el, 169
complejos silenciadores inducidos por, o RISC, 183
definición de, 53, 169
de transferencia
anticodón y, 170, 171, 176, 177, 178
interviene en la traducción de, 169, 170, 176, 177, 178, 180
uso de las energías de los, 180
estructura, 53, 169
función de las estructuras celulares y, 62
interferencia por (RNAi), 183
mensajero. *Véase también* Transcripción; Traducción
código genético, 171-172
en la síntesis de proteínas, 69, 169-172, 174, 176-178
regulación de los genes, 182
RNA regulador, 182-183
síntesis en eucariotas y procariotas, 174-175
origen de la vida y, 334
polimerasa, 180
energía y, 180
exones/intrones, 175
regulación de los genes y, 183, 184
transcripción y, 172, 173, 174, 175, 181-82
regulador, 183, 184
ribosómico, 69, 169, 170, 176
tipos principales de, 169, 170
universalidad de, 288
uso de energía, 180
Roedores, 481
Rombencéfalo, 774-776
Romeo y Julieta (Shakespeare), 761, 792
Roper, Clyde, 441, 464-65
Rosenberg, Karen, 854
Rótula, 809
Royas (hongos), 433
Rubisco, 126, 127-28
Ruffin, Earl, 250, 251, 254, 271
Rumen, 694
Rumia, 694
Rumiar, 694
Rutas metabólicas, 168-69
Ryder, Oliver, 832

Sabana, 590, 591, 592
Sacarosa, 42, 126
Saco vitelio, 840
Sahel, 593
Sahelanthropus tchadensis, 347, 348
Sal(es)
biliares, 698
concentración de, 112-13
formación de la, 25, 26, 28-29
homeostasis y, 636
Salamandras, 476, 672
Saliva, 695, 697
Salmón
ciclo de vida del, 559, 577
disminución de, 577, 600
nutrimentos del, 577
tiroxina y, 756
Salmonella, 378
Saltamontes, 457, 650
Samson, Kahindi, 580, 581
Sandoval, Christina, 554
Sangre. *Véase también componentes específicos*
artificial, 658
cantidad en humanos, 657
coágulos de, 47, 261, 648, 649, 654, 655, 666
color de la, 658, 678
como tejido conectivo, 642, 643
composición/funciones de la, (resumen), 658
distribución del flujo de, 662-64
funciones de la, 650
monitoreo y regulación de la, por parte de los riñones, 716
pérdida de, efectos de la, 646, 658, 659, 661, 662
pH de la, 678
Sanguijuelas, 453-454
Saola, 314, 315, 328
Sapo. *Véase también* anfibios
aprendizaje por ensayo y error y el, 491, 492
corroborí, 477
de caña, 518
dorados, 818-19
Saprófitos, 432
Sarampión, 852
Sarcómeros, 800, 801
SARS (síndrome agudo respiratorio severo), 722
Sauces, 598
Schally, Andrew, 749
Scheck, Barry, 251
Schistosoma, 451
Schleiden, Matthias, 65
Schwann, Theodor, 64-65
Secreción
de leche, 750, 851-852
"dulce", 879
Secreción tubular, 711, 712, 713-14
Secretina, 701, 702, 755
Secuencias de DNA, 360, 365
Secuoya, 358, 423, 870
Seda (telaraña), 48, 460
Sedimentación/lluvia ácida
áreas vulnerables de Estados Unidos a la, 572
causas, 483, 571-72, 622
definición/descripción de, 571-72
efectos de la, 483, 571-72, 600
Ley del Aire Limpio (EUA/1990), 572
pH de la, 31, 572
Segmentación
de anélidos, 452
del cigoto, 841
Segunda
generación filial (F_2), 224, 225, 227, 232-33
ley de la termodinámica, 102-03, 105
Segundo mensajero, 744
Selección
artificial, 266, 289, 290
clonal, 729-30
de linaje, 503
direccional, 309-10
disruptiva, 309, 310
estabilizadora, 309, 310
natural. *Véase también* Evolución
adaptaciones bióticas/abióticas, 306-307
artificial, 289-290
cambios genético, 305
competencia, 307
definición/descripción de, 9-10, 283, 288, 306
en ambientes específicos, 291
estructuras análogas, 286
evidencia de la, 289-91
fenotipos, 306
individuos, 305
mecanismo de la, 306-310
mutaciones fortuitas, 291
poblaciones, 305, 309-310
que ocurre en la actualidad, 290-291
reproducción diferencial, 306
resistencia a los pesticidas, 291
sexual, 307-309
Selva
de Arabuko-Sokoke, 580, 581, 607
tropical
agricultura y, 589-90, 619, 629
biodiversidad de la, 588, 589, 590
biomas y, 587-89
dispersión de semillas y, 898
efectos de las actividades humanas en la,589-90, 591
fuego devora la, 589-90
pájaros en la, 620
pérdidas estadísticas, 590
Semen, 822, 826
Semillas
de diente de león, 413, 903
definición de las, 410, 413, 889
desarrollo de las, 407, 410, 413, 416, 896, 898, 903-4
dispersión y las, 407, 410, 413, 416, 896, 898, 903-4
efectos de las hormonas en las, 918
ejemplos de las, 413, 414
estado de latencia de las, 899
estructura/función de las, 410, 413
germinación y crecimiento de las, 899-900
Senectud, 919
Sensitiva (*Mimosa*), 921
Sentidos químicos, 788-90
Sépalos, 892
Sepia (jibia), 456
Septos, 424
Séptuples, 831
Sequía, El Niño y, 584-85
Series de fósiles, 283, 284
Serotonina, efectos de, 769
Serpiente (Víbora)
con mimetismo, 477, 544, 545
coralillo y, rey, 545
de cascabel
efecto de la mordida de una, 80, 81, 97-98
jarreteras y reproducción, 819
real de montaña y, coralillo, 477
visión general de la, 477, 478
Servicio(s)
de los ecosistemas
definición/descripción de, 612-14
economía ecológica, 614-15
protección, 614-15
de Peces y Vida Silvestre de Estados Unidos, 624, 629

Seymour, Roger, 887, 904-5
Shakespeare, 761
SIDA. *Véase también* VIH
  mecanismo del, 380-81, 729
  panorama del, 739, 828
  tratamiento del, 447, 736
Sífilis, 378, 828, 852
Sílice
  esponjas y, 447
  protista y, 392, 396-97
Sílvidos. *Véase* Currucas
Simbiosis. *Véase también* parásitos /parasitismo
  comensalismo en la, 547
  definición de la, 547
  en las plantas (visión general), 873, 875
  líquenes y la, 430-32, 547-48
  micorrizas en la, 432
  mutualismo en la, 547-48, 549
  paramecium/chlorella viven en, 339
Simetría
  atracción sexual y, 488, 489, 509-10
  bilateral/organismos de, 443, 444, 445, 770
  radial, 443, 448, 770
  tipos de, 443
Sinapomorfias, 362
Sinapsis
  contracción muscular y, 802
  definición de, 762, 765
  funciones de, 764, 765
Síndrome(s)
  Agudo Respiratorio Severo (SARS), 722
  de Down (trisomía 21), 242, 243-44, 268, 270
  de Ellis-Van Creveled, 304
  de inmunodeficiencia adquirida. *Véase* SIDA
  de Jacob, 243
  de Klinefelter, 243
  del alcoholismo fetal (SAF), 836, 837, 852-53, 854
  de Marfan, 220-221, 233, 244
  de Turner, 241, 242
  de Werner, 185
Sinestéticos, 768
Singer, S. J., 82-83
Sinoauricular (SA) nodo, 656-57
Síntesis por deshidratación, 39, 41-42, 49
Sistema(s)
  binomial para nombrar a las especies, 14
  cerrado, 102
  circulatorio. *Véase también* Enfermedades cardiovasculares
    abierto, 454, 457, 650-51
    cerrado, 452, 454, 456, 457, 650-51
    funciones del (en vertebrados), 651
    panorama del, 645, 650-51
    problemas con el, 648-49
    tipos de, 650-51
    válvulas del, 656, 662, 663
  de complemento, 730
  de raíz
    fibrosa, 870, 871
    primaria, 870, 871, 880
  de raíces, 860-61
  de tejido
    dérmico, 862, 863
    fundamental, 862-64
    vascular (plantas), 862, 864-65, 867-68
  de vástago, 861
  digestivo
    definición/descripción, 692
    efectos de los desórdenes alimentarios, 685, 702
    funciones, 692
    panorama general, 645
    úlceras, 699
  endocrino *Véase también* Hormonas
    definición/descripción, 743
    de mamíferos, 743
    panorama general, 645
  esquelético
    anatomía del, 798
    extremidades caninas y humanas y su, 811
    visión general del, 645, 798
  excretor. *Véase también* Sistema urinario
    panorama general, 708-9
  harvesianos (osteones), 807
  inmunitario. *Véase también* Antibióticos; Vacunas/vacunación
    ataque/destrucción del invasor, 726-727
    capacidad de reconocimiento/respuesta, 726-728
    fallas del, 733-737
    inmunidad, 729-731
    lo propio/lo ajeno, 728-729, 734
    médula ósea y, 265, 725-726
    panorama general, 645, 725-726
  límbico, 775-776
  linfático, 645, 663-665
  métrico, 58
  muscular
    anatomía, 798
    movimiento, 798, 808-809
    panorama general, 645, 798
  nervioso. *Véase también componentes específicos; sentidos específicos*
    autónomo, 771, 772
    central (SNC), 770, 771. *Véase también* Cerebro; Médula espinal
    contracción muscular y, 802
    digestión y, 701-702
    dirección del comportamiento, 770
    estímulo y respuesta, 764, 768
    estructura en los humanos, 770-777
    mecanismo de los receptores sensoriales, 781-782
    operaciones básicas, 764
    organización del, 764, 768, 770
    organización/función del (vertebrados), 771
    panorama general, 645
    periférico, 770-771
    simpático, función/estructura, 662, 771, 772
    sistemas centralizados, 770
    somático, 771
  reproductivo, 645
  respiratorio. *Véase también* Porción de intercambio gaseoso, 680-81
    humano, 675-81
    porción conductora y, 675-76
    vertebrados terrestres, 672, 675
    visión general de, 645
  urinario. *Véase también* Sistemas excretores
    en humanos, 710-15
    funciones básicas del, 708
    funciones en vertebrados y, 709-10
    homeostasis funciones del, 708
    riñones de los mamíferos a conservar la homeostasis y, 715-17
    visión general del, 645
Sistemática, 358. *Véase también* Clasificación de organismos
Sitio activo (enzimas), 109
Skinner, B. F./caja de Skinner, 491
Smith, Douglas, 624
Smith, J. L. B., 469, 484
Smith, William, 279
Sobreexplotación de las especies, 522, 620. *Véase también* Pesca excesiva
Sociedad(es)
  de Toxicología Estadounidense, 268
  en animales, 502-6
  mundial para la conservación, 618
Soluciones, 28, 88, 90
Solutos, 85
Solventes, 28, 85
Sombra orográficas, 584, 585
Sonido. *Véase también* Orejas
  comunicación por, 496, 501
  sentidos y, 782-85
Soya, 268
Spartina, 603
Spermann, Hans, 844
Sperry, Roger, 778
Spirogyra, 399
Splenda, 41
Staphylococcus, 379, 515
Stents, 654, 655
Stewart, Margaret, 477
Stramenopiles (Cromistas), 388, 392-93
Stratton, Charles, "Pulgarcito", 749
Struhsaker, Thomas, 496
Subafluentes, 600
Subclímax, etapas de, 550, 553-54
Sucesión
  secundaria, 550, 552-53
    en la selva tropical, 589-90
  definición de, 550
  visión general de, 550-54
Sucralosa, 41
Suculentas, 881, 882
Sudor, 640
  contiene sal, 234
  efecto de enfriamiento y, 13, 113, 234, 637, 691
  insolación y, 637
Suelo
  servicios de los ecosistemas y, 613
  formación de, 613
  efecto de las plantas sobre el, 405
Sumidero de azúcar, 879, 880
"Súper gérmenes", 295
Superficie superior (dorsal), 443
"Supervivencia del más apto", 283, 306
Surfactante, 677
Surgencia, 601
Sustancias
  biodegradables, 566
  que controlan la floración, 917
Sustentabilidad, es la clave de la conservación, 625-29
Sustitución. *Véase también* Sustitución de nucleótido
Sustrato (de enzimas), 109-10

Tabla (s)
  de Ishihara, 240
  de vida, 525-526
Tabú contra el incesto, 507
Tacto
  comunicación por, 497
  sensibles al, 768, 782, 783
Taiga, bosque septentrional de coníferas o, 596-97, 598
Tálamo, 775, 776
Talidomida, 852
Tallos de las plantas
  adaptaciones especiales de los, 880, 881
  función/estructura de los, 861, 866-70
Tamaños relativos, 58
TAMAR, 621

Tamarín
  o tití león
    de cara negra, 366
    de cabeza dorada, 591
Tamiflu, 612
Tarántula, 460
Tarsero, 346
Tasas de natalidad, 514, 529, 533
Tatum, Edgard, 169
Taxol, 12
Taxón, 362
Técnica de sembrar sin labrar, 627-628
Tecnología reproductiva asistida (TRA). *Véase también métodos específicos*
  nacimientos múltiples, 831
  para especies en peligro de extinción, 815, 832-33
  para los humanos, 829, 831
  pruebas genéticas y, 831
  selección de género y, 831
Tejido(s)
  adiposo, 642
  adultos a partir de capas celulares embrionarias, 841
  bioingeniería y, 77
  conectivo, 641-42
  definición de, 2, 3, 443, 639, 640
  dérmico, 862
  epitelial
    generalidades, 639-41
    reposición de, 640
  evolución animal y aparición de, 443
  muscular, 642-644
  nervioso, 643
  panorama de las cuatro categorías principales de, 639-41
  simetría, 443
Telaraña, 48, 460
Telofase (mitosis), 199, 200
  I (meiosis), 210, 213
  II (meiosis), 211, 213
Telómeros
  definición de, 196
  maduración y, 203
Tembladera, 8, 37, 54, 382-83
Temperatura. *Véase también* clima; biomas específicos
  biomas y, 587, 588, 598
  condiciones necesarias para la vida y, 585
  corporal/regulación de la
    almacenamiento de triglicéridos y, 688
    homeostasis y, 11-12, 13, 96-97, 344, 479, 636-39
    insolación y, 637
    sudoración y, 13, 113, 234, 637, 691
  de los ecosistemas acuáticos, 598
  estado de animación suspendida y, 634-35
  influye en la actividad de las enzimas, 112
  movimiento y, 85
  para la vida tienen una distribución, 586
Temor y amígdala, 776
Tendones
  funciones de los, 641, 808, 809
  tejido conectivo y, 641, 800
Tenias o solitarias, 450-51
Tensión superficial del agua, 20, 21, 30, 33
Teología, 278, 280
Teoría(s)
  de la cohesión-tensión, 876
  científicas, 8, 9
  celular, 11, 59, 65
Terapia genética (génica), 234, 265, 804
Terminación (etapa de transcripción), señal de, 172, 173
Terminaciones nerviosas libres, 782
Terminales sinápticas, 643, 762, 764, 765
Termitas
  comunicación entre, 496-97
  relación mutualista en las, 391, 548
Territorialidad
  agresión y, 500
  anuncio de, 500-501
  apareamiento y, 500
  definición de, 499-500, 524
Testículos
  función y estructura de los, 820-21
  hormonas y, 743, 747, 753
Tetanos, 377, 378
Tetrahidrogestrinona (THG), 741, 757
Tetrastigma, 403
Tetosterona
  complejo de receptor de andrógenos y, 184-85
  corteza suprarrenal y, 755
  desarrollo embrionario y, 848
  estructura de, 46
  funciones de, 753, 820, 822
Thermus aquaticus, 256, 271
Thimann Kenneth, 913
Thiomargarita namibiensis, 373
Thomas, Chris, 622
Thomas, Donald, 898
Thomas Lewis, 1, 16, 379
Thornhill, Randy, 489
Tiburón(es), 473-74, 605, 606, 636, 775
  ballena, 474
Tierra(s)
  condiciones prebióticas/evolución, 332-35
  curvatura/efectos, 582-83
  "de diatomeas", 392
  edad de la, 281, 335
  húmedas
    beneficios de, 600, 602, 613, 614, 616
    costeras y, 601-2, 603, 613
    impactos y perdidas para las actividades humanas, 600, 602, 613, 614, 616
    protección y restauración de, 600, 602, 616-17
  inclinación/efectos, 582-83
Tigmotropismo, 910
Tigres, 620, 815, 832-33
Tilacoideas (cloroplastos)
  estructura de, 74, 75, 118-19
  reacciones dependientes de la luz se efectúan en, 121-22, 123
Timena cristinae, 554
Timina (T), 154, 155, 156-57
Timo, 663, 665, 743, 747, 755
Timosina, 755
Tímpano (membrana timpánica), 782, 783
Tinbergen, Niko, 493, 500
Tinción de Gram, 372
Tipos sanguíneos
  alelos múltiples y, 233-35
  glucoproteínas, 84, 233-235
  resumen de características de los, 235
  secretor B, 251
  transfusiones y, 235
Tirosina, 168
Tirosinasa, 238
Tiroxina, (hormona tiroidea), 750-52, 756, 757
Tizón, 433
Tonicidad, 88
Tonsilas o amígdalas, 663, 665
Tórax (insectos), 457
Tormentas eléctricas (Tierra primitiva), 332, 333, 335
Toro almizclero, 504
Tortuga(s)
  gigante, 478
  marinas
    barreras que impiden a las, llegar a desovar, 619, 621
    de las islas Galápagos, 282, 477
    esfuerzos por la conservación de las, 621
    explotación de las, 620, 621
    migración de las, 478
    pigface jugando, 508
    visión general, 477, 478
Tos de fumador, 678
Toxinas
  contaminantes, 622
  de cicadáceas, 413
  hongos pueden producir, 434, 436
Trabajo, definición de, 13, 102
Tracto reproductor
  femenino, 823-25
  masculino, 820-22
Traducción
  alargamiento y, 176, 177
  definición de 170, 171, 176-78
  diagrama de, 177
  en los eucariotas, 175, 176-78
  en los procariotas, 174, 175
  energía y, 180
  iniciación de, 176, 177
  regulación de los genes y, 181-82, 183
  RNA regulador y, 183
  terminación, 176, 177
Transbordador Espacial *Columbia*, 796
Transcripción. *Véase también* RNA mensajero (RNAm)
  alargamiento y, 172, 173
  definición de, 170, 171, 172-76, 178
  diagrama de, 173
  energía y, 180
  iniciación y, 172, 173
  regulación de los genes y, 181-82, 183-86
  terminación de, 172, 173
Transferencia(s)
  de cromatina, 203-4
  de embriones entre especies, 815, 832
Transformación
  en bacterias, 150-51, 252-53
    descubrimiento del DNA y, 150-51, 252
Transgrasas/configuración, 46, 47
Transición demográfica, 527-28
Translocación, 162, 163, 179
Transpiración, 876, 877
Transporte
  activo, 86, 92-95, 874. *Véase también tipos específicos*
  que requiere de energía. *Véase también tipos específicos*
  pasivo, 86-88, 90-92. *Véase también tipos específicos*
Tráquea
  de los artrópodos, 457, 672, 673
  pulmones de vertebrados y la, 675, 676
Traqueidas, 864
Traqueolas, 672, 673
Trastorno afectivo estacional (seasonal affective disorder, SAD), 755
Tratado de Kyoto, 575-576
Treonina, 111
Trevathan, Wanda, 854
Tribu fore, 381-82
Triceratops, 11, 130, 275
Trichinella/triquinosis, 462, 463
Tricomoniasis, 391, 828
Trifosfato
  de adenosina. *Véase* ATP
  de citosina (CTP), 180
  de guanosina (GTP), 180

Trilogía de la Tierra (Duranceau), 487
Trinucleótido, síntesis de proteína y, 180
Trisomía
  21 (síndrome de Down), 243-44, 268, 270
  X, 242, 243
Triglicéridos, 40, 44, 686
Tripsina, 109, 110
TRNA. *Véase también* RNA de transferencia
Trombina, 659, 660
Trompa de Eustaquio (audición), 782, 783, 784
Tronco nodriza, 596
Trópicos
  biodiversidad en los, 12
  clima en los, 583
Trufas, 435-36
Trychomona vaginalis, 391
Trypanosoma, 392, 547
Tschermak, Erich, 228
Tuberculosis, 295, 311, 378
Tubo
  auditivo (trompa de Eustaquio), 782, 783, 784
  uterino, 824, 829
Túbulos
  de Malpighi, 708-709
  distal, 711, 712, 713
  neurona y, 711
  seminíferos, 821
  T, 800, 801, 802
Tucanes, 589
Tucídides, 726
Tumores
  definición de, 737
  efectos sobre corteza suprarrenal y, 755
Tundra, 597-98
Turba, 407, 574
Twain, Mark, 681
Tyndall, John, 332
Tyrannosaurus, 130

Ulceras, 698, 699
Umbral (potencial de reposo), 763, 764, 765
Unidad motriz, 802
Uniformitarismo, 280-81
Unión(es)
  abiertas (en hendidura), 96,652, 653, 799, 804
  estrechas, 95-96
  neuromusculares, 802
Unión Mundial para la Conservación (IUCN), 615-617, 619-620, 628
Uracilo, 169, 172
  Trifosfato de, 180
Urea, 698, 709
Uréter, 710
Uretra
  en mujeres, 710, 823
  en hombres, 710, 820, 822
Urey, Harold, 332-33
Uso
  conservación de, 625-29
  definición de, 590
  ilegal de genes, 804
  pobreza y, 620
  recomendaciones para el, 628, 630
  selva tropical y, 590
  sustentable, 614, 621, 623
Útero, 480-81, 823, 824
Utricularias, 909, 921

Vacanti, Joseph, 77
Vacunas/vacunación
  alergias y, 734
  anticonceptivo masculino y, 731-32
  beneficios de las, 733
  células de memoria y, 731-32
  "comestibles", 261
  historia de las, 732
  para el cáncer, 737
  para prevenir la neumonía bacteriana, 150-51
  tipos de, 150
  VIH y, 736
  VPH y, 828
Vacuolas, 72
  alimentaria, 72, 94, 389, 693
Vagina, 823, 825
Vainas de las semillas del anís estrella, 612
Válvulas, 656, 662
  semilunares, 656
  sistema circulatorio y, 663
  sistema linfático y, 664, 665
Variabilidad genética
  cuello de botella en la población, 303
  definición/descripción, 9-10
  evolución, 9-10, 207
  gametos, 207, 217
  importancia de, 216
  meiosis/reproducción sexual, 207, 211, 212, 213, 216-17
  mutaciones, 178, 180, 207, 216, 298-99
Variable (método científico), 4, 5
Várices, 662
Vasectomía, 829
Vaso
  de las plantas vasculares, 410, 864
  elemento del, 864
  linfáticos, 644
  sanguíneos. *Véase también vasos específicos*
    de los humanos, 660
    estructura de los, 661
    funciones de los, 650
    interconexiones entre, 660, 661
Vasopresina. *Véase* hormona antidiurética (ADH)
Vehículos todoterreno, 593
Vejiga
  natatoria, 474
  urinaria, 710
Vellosidades, 700, 701
  coriónicas, 847, 848, 850
  eréctiles (humanos), 292
Velociraptors, 343
Vena(s)
  cava
    inferior, 652
    superior, 652
  funciones de las, 652
  haces vasculares de las, 118, 119, 865
  renal, 710
Veneno
  arácnido, 81, 97, 98, 460
  efectos del, 81, 84, 97-98, 460
  insectos y, 458
  medusa y, 448, 449
  para combatir a las cucarachas, 291
  serpiente de cascabel y su veneno, 80, 81, 97-98
Ventral (inferior) o superficie, 443
ventrículos, 651
Vénulas, 644, 661, 662

Venus atrapamoscas, 882,908, 909, 921, 922
Verlinsky, Yury, 271
Vertebrados, 471, 472. *Véase también* Animales
  animales, utilizados en investigaciones, 483
  definición de, 445, 470
  evolución de, 471, 472
  grupos de, que carecen de mandíbulas, 472-73
  principales grupos de, 472-82
  visión general de, 471
Vesícula
  biliar
    funciones, 696, 698
  células eucarióticas y, 70, 71-72
  endocitosis y, 92, 93, 94
  origen de la vida y, 334
  seminal, 820, 822
Viajes espaciales, riesgos de los, 796-97, 810-11
Vías metabólicas, 108
Vibrio cholerae, 361
Vida. *Véase también* Clasificación de los organismos
  árbol de la vida, 15, 361
  características de la, 10-14
  condiciones necesarias para la, 585
  distribución
    en el medio acuático, 598-607
    en el medio terrestre, 585-598
  edad de la, 335-336
  el organismo más grande, 206, 422-423, 437
  en otros planetas/la Luna, 1, 17
  "escala de la naturaleza" de Aristóteles, 278
  niveles de organización de la, 2-3, 639-640
  procesos bioquímicos comunes a la, 288
  relación de la, 178
  salvaje. *Véase también* Conservación; Especies amenazadas
    calentamiento global e impactos en la, 575
    perturbadores endoctrinos,566
  tamaños relativos, 58
Vieiras, 454, 455, 456
Vientos
  alisios, 583
  del oeste, 583
Vietnam, cordillera Annamita, 314, 315, 328
VIH. *Véase también* SIDA
  como una nueva amenaza, 722
  efectos del, 828
  estructura/replicación del, 381-382, 736-737
  filogenia del, 367
  orígenes del, 356-357, 736
  sangre y, 264
  transmisión del, 736, 852
Vinculación forma-función, 633
Vino
  antioxidantes, 29
  levaduras y producción del, 139, 435
  mildiú velloso, en la industria del, 392
Virchow, Rudolf, 59, 157
Viroides, 381, 384
Viruela vacuna (vaccina), 732

Virus, 261. *Véase también* Bacteriófagos; Enfermedad
de inmunodeficiencia símica (VIS), 367
de la influenza, 254, 380,720-722, 730, 734-735
de la rabia, 380
de la viruela, 381, 384, 523, 732
vacuna contra el, 381, 732, 733
de las plantas contra los, 920-21
del herpes, 380, 383, 828, 852
del papiloma humano (VPH), 828
definición de, 379
del moquillo, 253-54
canino, 253
del mosaico del tabaco, 380
del Nilo occidental, 541, 722
difícil tratamiento de los, 381
duplicación del DNA del, 253-54, 382-83
entra en la célula huésped, 253-54, 380-81
estructura y componentes de los, 379-80
fibrosis quística y, 265
formas de los, 380
híbridos, 254
medicamento antiviral y, 612, 733, 734-35
origen de los, 384
propagación de, 721, 738
pueden transferir DNA,253-54
RNAi contra los, 183
SCID y, 265
síntomas y respuesta inmunitaria ante los, 738
son parásitos, 380
tamaño relativo de los, 379-80
tasa de mutación de los, 381
"vacunas comestibles" y, 261
vinculación de cáncer con, 381, 383
visión general de, 379-81, 382-83
Visión. *Véase también* Ojos
adaptación de la, cromática, 347
binocular, 347, 788
comunicación y, 495-96, 501-2, 505
evolución humana y, 347
mecanismo de la, 785-788
Vitaminas
A, 121, 267, 690, 691
B_{12}, 376, 691, 701
C, 28, 29
carencia de las, 688, 689, 690, 691
coenzima, 109
D, 586, 690, 810
E, 28, 29, 267, 690
fuentes y funciones de las, 690
hidrosolubles, 690-91
K, 376, 379, 690, 691, 701
lípidos y, 690, 691
mujeres embarazadas y, 691
toxicidad y exceso de, 691
visión general de las, 688, 689, 690
Vitelo o Yema, 838-39
Viuda del paraíso, experimentos con, 6-7
Volcanes
erupciones de, 130, 346
lechos de los lagos y, 598
Volicitina, 920
Volvox, 399
Vorticella, 19
Vries, Hugo de, 228

Wallace, Alfred Russel, 9, 278, 281-82, 288, 289, 305
Warren, J. R., 699
Watson, James, 5, 10, 154, 155, 156, 157
Weinberg, Wilhelm, 297-98
Welwitschia mirabilis, 413-14
Went, Frits, 913
White, James, 574
Whitfield, Arthur, 271
Whittaker, Robert H., 360
Wilkins, Maurice, 154-56
Wilmut, Ian, 202
Wilson, E. O., 12
Wilson, H. V., 446
Woese, Carl, 360-61

Xenotrasplantación, 714
Xilema, 864, 869, 876, 877
secundario, 869

Yemas
de las plantas, 861
laterales, 867-868, 915-916
terminal, 866
Yersinia pestis, 378
Yodo y tiroxina, 751-752
Yogurt, 138-39
Yuca y polilla de la yuca, 902-3

Zángano (abejas), 504, 505
Zarigüeya, 481
Zarina Alejandra, 241
Zarzamoras, 365
Zona(s)
afótica, 601, 602, 606
costeras, 601-2, 603, 613
de vida lacustre, 598-599
fótica, 601-602
intermareal o intermareas, 540, 601-602
limnética, 599
litoral, 598-599
muerta del golfo de México, 605
pelúcida, 826-28
próxima a las orillas, 601-603
Zoológico de Wilhelmina en Stuttgart, 387
"Zoológicos congelados" (bancos de DNA), 814-15, 819, 820, 832-33
Zooplancton, 599, 605
Zorra, del ártico, 597